ANNALES

DES

SCIENCES NATURELLES

CINQUIÈME SÉRIE

BOTANIQUE

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2

ANNALES

DES

SCIENCES NATURELLES

CINQUIÈME SÉRIE

BOTANIQUE

COMPRENANT

L'ANATOMIE, LA PHYSIOLOGIE ET LA CLASSIFICATION
DES VÉGÉTAUX VIVANTS ET FOSSILES

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

MM. AD. BRONGNIART ET J. DECAISNE

TOME XIX

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE DE PARIS

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

1874

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2

ANNALES

DES

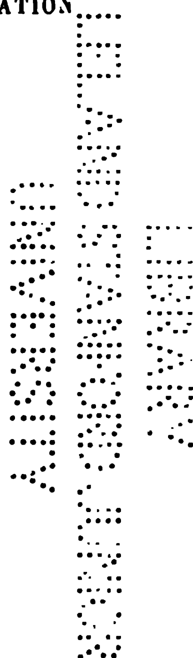
SCIENCES NATURELLES

CINQUIÈME SÉRIE

BOTANIQUE

COMPRENANT

L'ANATOMIE, LA PHYSIOLOGIE ET LA CLASSIFICATION
DES VÉGÉTAUX VIVANTS ET FOSSILES



PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

MM. AD. BRONGNIART ET J. DECAISNE

TOME XIX

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE DE PARIS

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

1874

ANNALES

DES

SCIENCES NATURELLES

BOTANIQUE

ÉTUDES

SUR

LE DÉVELOPPEMENT DE L'OVULE ET DE LA GRAINE

DANS

LES SCROFULARINÉES, LES SOLANACÉES LES BORRAGINÉES ET LES LABIÉES

Par M. Joannes CHATIN.

Ce travail devait tout d'abord avoir pour objet l'étude du développement comparé de l'albumen et de l'embryon dans les quatre familles des Scrofularinées, des Solanacées, des Borraginées et des Labiées, qui, tout en présentant de nombreuses affinités naturelles, offrent des dissemblances remarquables lorsqu'on examine la constitution de leur graine. Mais, dès le début de mes recherches, j'ai pu me convaincre que l'étude de l'ovule doit constamment précéder celle de la graine, si l'on veut être assuré de parvenir le plus sûrement possible à la connaissance de la nature et de l'origine des parties de celle-ci ; j'ai donc dû consacrer une grande partie de mon temps à l'examen de l'ovule considéré, soit dans sa genèse, soit dans son évolution, et à l'étude du sac embryonnaire dans lequel se développeront l'albumen et l'embryon.

Certaines parties que je comptais simplement effleurer ont dès lors occupé une place étendue dans le cadre de mes observations : c'est ainsi, par exemple, que je me suis trouvé conduit à étudier dans tous leurs détails l'apparition et le développement du tégument ovulaire, du sac embryonnaire, etc.; il en est résulté une modification générale pour le plan de ce mémoire, dans lequel l'histoire organogénique de l'ovule est venue se placer au premier rang.

J'ai cru devoir faire précéder les descriptions relatives aux divers types que j'ai étudiés, de deux chapitres consacrés, l'un à une introduction historique, l'autre à l'exposé des considérations générales qui me paraissent résumer l'ensemble de mes recherches. Cette seconde partie s'explique d'elle-même; quant à la première, elle m'a semblé nécessaire pour établir l'état actuel de la science sur ces questions et pour rappeler brièvement les principaux travaux qui leur ont été consacrés et qui m'ont fréquemment servi de guides.

C'est pour moi un devoir et un plaisir de remercier, au début de ce travail, l'éminent maître qui a bien voulu m'en indiquer le sujet, et qui, durant la longue série de mes observations, n'a cessé de m'encourager par sa bienveillante sollicitude et ses savants conseils. Que M. le professeur Duchartre reçoive donc ici le respectueux hommage de ma profonde reconnaissance.

INTRODUCTION.

Le rôle physiologique de l'ovule, l'importance majeure de sa destination, donnent un grand intérêt à l'étude de son développement et des diverses transformations qu'il subit ; aussi les botanistes se sont-ils depuis longtemps appliqués à poursuivre des recherches capables de faire progresser la science sur ces questions. Mais « si l'organisation complexe de l'ovule, les change-
» ments de situation relative que subissent ses points les plus
» importants pendant le cours de sa formation graduelle, étaient
» bien faits pour piquer la curiosité; d'autre part, les obstacles

» que font naître devant l'observateur la petitesse de ses parties » et la délicatesse de leurs tissus, par suite de la difficulté des » préparations qui seules peuvent éclairer sur sa structure » intime, ont rendu fort lents, pendant longtemps, les progrès » des connaissances à son sujet (1). »

Ces lignes résument parfaitement et l'intérêt qui s'attache à l'histoire organogénique de l'ovule, et les difficultés qu'elle comporte; elles nous expliquent aussi comment les anciens botanistes ne nous ont laissé que quelques mémoires fort incomplets et très-peu précis sur ce sujet. Il convient toutefois de distinguer parmi eux deux anatomistes du XVIIe siècle, Grew et Malpighi, qui reconnurent que l'ovule est pourvu d'enveloppes rattachées à une base commune et présentant une ouverture propre et non accidentelle, le micropyle; sur ce point, leurs conclusions furent bien plus justes que celles de certains botanistes modernes dont il sera bientôt question (2).

On s'étonne de voir ces aperçus si justes de Grew et surtout de Malpighi rester dans un oubli presque absolu durant plus de cent ans, puisque c'est seulement dans les premières années du XIXe siècle que l'attention se porte de nouveau sur le déve-

(1) P. Duchartre, *Rapport sur les progrès de la Botanique physiologique*. Paris, 1868, p. 374 et 375.

(2) Grew, *the Anatomy of Plants*, 1672.

Malpighi, *Anatome plantarum*, 1675, p. 57.

Parmi les ouvrages publiés durant le XVIIIe siècle, et qui, sans rien ajouter à l'histoire de l'ovule, nous font connaître l'état de la science sur cette question, je citerai :

S. Morland, *Acta eruditorum*, 1703, p. 275, et *Trans. phil.*, 1703, n° 287.

Waldschmiedt, *De sexu ejusdem plantæ gemino*, 1705.

Séb. Vaillant, *Sermo de structura florum*. Paris, 1718.

Ant. de Jussieu, *Dissertatio de analogia inter plantas et animalia*. Londini, 1721.

Hebenstreit, *Programma de fœtu vegetabili*. Lipsiæ, 1747.

Linné, *De nuptiis et sexu plantarum*. — *Fundamenta botanica*. — *Sponsalia plantarum*, etc.

Kalm, *De fecundatione plantarum*. Aboæ, 1757.

Kröyer, *De sexualitate plantarum ante Linnæum cognita*. Hafniæ, 1761.

Stieff, *De vita nuptiisque plantarum*. Lipsiæ, 1741.

Hernandez, *Nuevo Discurso de la generacion de plantas*. Madrid, 1767.

Mustel, *Traité de la végétation*. Paris et Rouen, 1781, 1784.

Marti, *Experimentos y Observaciones sobre los sexos y fecundacion de las plantas*. Barcelona, 1791.

loppement de l'ovule et de la graine, et détermine ainsi des progrès souvent considérables dans cette partie de la physiologie végétale.

En 1815, Auguste de Saint-Hilaire établit qu'à la suite de la fécondation et de la constitution de l'embryon, la radicule de celui-ci est toujours tournée vers le micropyle, fait très-important et sur lequel on doit s'appuyer dans tous les cas où l'on cherche à retrouver la forme de l'ovule par la seule considération de la graine. Vers la même époque, Treviranus et Dutrochet s'occupèrent également de semblables recherches, mais se bornèrent aussi à considérer principalement l'évolution de l'embryon et la formation de l'albumen, laissant ainsi de côté les périodes de la vie de l'ovule qui sont antérieures à l'imprégnation.

Cette lacune importante fut en partie comblée par les mémoires de Robert Brown, qui montra que l'ovule est, dans sa plus grande complexité, formé d'un noyau parenchymateux et de deux enveloppes, le testa et le tegmen, percées chacune d'une ouverture correspondante. Cet orifice micropylaire, déjà signalé par Grew, avait été regardé par Turpin et A. de Saint-Hilaire comme une cicatrice vasculaire; bientôt même M. Raspail devait prétendre que c'était simplement l'indice de l'insertion de la radicule, et que les téguments ovulaires ne présentaient aucune perforation. Sur ce point donc, les vues de R. Brown sont parfaitement conformes aux résultats fournis par l'observation; il ne se borna pas d'ailleurs à l'étude des téguments ovulaires, et analysa longuement la constitution et les transformations de l'ovule, du raphé, de l'embryon, etc.

Sur quelques-uns de ces points et en particulier sur l'existence, la situation et les rapports de l'exostome et de l'endostome, les conclusions de Robert Brown avaient été déjà formulées par un savant danois, Thomas Schmidt; mais son travail n'ayant pas été publié, il est naturel de reporter à l'observateur anglais tout le mérite des belles recherches qui devaient déterminer des progrès aussi rapides qu'importants dans l'histoire organogénique de l'ovule.

Au moment même où paraissait le mémoire sur le *Kingia*,

M. Adolphe Brongniart publiait en France un travail devenu classique, relatif à la fécondation des Phanérogames, et dont plusieurs chapitres étaient exclusivement consacrés à l'étude du développement de l'ovule et de la graine. Les observateurs précédents s'étaient contentés d'examiner le premier fort jeune et la seconde à l'état parfait. M. Ad. Brongniart déclare au contraire que « l'étude des changements qui s'opèrent dans l'ovule, » depuis le moment de l'imprégnation jusqu'à l'époque où arrivé » à l'état parfait, il prend le nom de graine, peut seule nous éclai- » rer sur la distinction des divers téguments de la graine » (1). Telle est, en effet, la vraie méthode rationnelle, et chacun sait les heureux résultats qu'a produits son application.

Dans le chapitre consacré à la *structure de l'ovule avant l'imprégnation*, M. Brongniart résume les idées de ses devanciers, puis fait connaître les conclusions auxquelles il a été conduit par ses propres recherches; il établit, entre autres particularités remarquables, que tous les ovules ne possèdent pas deux téguments, et parmi les plantes qui lui ont présenté une seule enveloppe autour de leur nucelle, il cite les Véroniques, auxquelles des observateurs moins heureux dans leurs recherches devaient plus tard refuser ce tégument dont je me suis efforcé de faire connaître la genèse et l'évolution.

A la suite de l'histoire très-détaillée de la fécondation, se place un chapitre consacré à l'*étude du développement de l'embryon et de la formation des tissus de la graine*, et présentant l'exposé des divers phénomènes dont l'ovule est le siége, depuis le moment où l'embryon apparaît jusqu'à celui où la graine atteint son état parfait. M. Ad. Brongniart termine en faisant remarquer que si l'on peut déterminer la position de la radicule d'après celle du mamelon d'imprégnation, il est impossible de présumer l'existence ou l'absence de l'endosperme dans la graine, en se basant sur la structure de l'ovule, vérités incontestables et dont l'organogénie de diverses plantes, des Borraginées par exemple, confirmerait une fois encore l'exactitude, s'il en était besoin.

(1) Ad. Brongniart, *Sur la génération et le développement de l'embryon dans les plantes phanérogames*, p. 29.

Cet important travail fixait définitivement les conditions biologiques qui président à la vie de l'ovule, et traçait la voie dans laquelle se portèrent rapidement de savants observateurs, parmi lesquels l'école française peut revendiquer avec orgueil les noms les plus glorieux. En effet, trois ans à peine s'étaient écoulés depuis la publication du mémoire de M. Brongniart, lorsque Brisseau Mirbel fit paraître un long travail, dans lequel il résuma de nombreuses observations, et fit connaître d'une façon suffisamment détaillée les diverses phases par lesquelles l'ovule passe successivement depuis sa naissance jusqu'à l'état adulte (1).

En 1837, M. Schleiden, s'inspirant des conseils de son oncle Horkel, publia dans les *Archives de Wiegmann* le résumé de ses recherches sur la structure et le développement de l'ovule; mais ce fut seulement en 1839 qu'il fit connaître l'ensemble de ses observations sur la formation de l'ovule, passant successivement en revue la genèse de cet organe, la constitution de ses diverses parties et l'organisation de l'embryon; il termine en déclarant qu' « on ne peut déterminer d'une manière générale » auxquels des jeunes organes de l'ovule se rapportent les par- » ties de la graine. Cette détermination doit résulter, pour » chaque famille, d'une étude spéciale du mode de développe- » ment. » M. Schleiden semblait donc prévoir l'importance considérable des monographies, qui commençaient, à ce moment même, à ajouter des faits très-intéressants à l'histoire organogénique de l'ovule.

En cette même année 1839, parut en effet un beau mémoire de M. Decaisne sur le développement de l'ovule dans le Gui et le *Thesium*. Dans la première de ces plantes, l'ovule se présentait avec une remarquable structure : réduit à une sorte de tube simple ou cloisonné présentant au sommet la vésicule embryonnaire, l'ovule devait nécessairement être regardé comme dépourvu de primine et de secondine; en outre, cet organe, composé d'un tissu homogène dans toute son épaisseur, embrassait directement l'embryon. Dans le Gui, le périsperme est coloré en vert, et la graine présente parfois plusieurs embryons. M. Decaisne,

(1) Mirbel, *Recherches sur l'ovule végétal*, 1830.

découvrant au fond de chaque ovaire plusieurs ovules réduits au sac embryonnaire, arriva ainsi à expliquer naturellement cette pluralité si bizarre des embryons. Quant au *Thesium*, M. Ad. Brongniart lui ayant trouvé un ovule nu, M. Decaisne fut conduit à l'examiner comparativement avec celui du Gui; il suivit cet ovule dans son développement, et fit connaître dans tous leurs détails les transformations qui donnent à cet organe sa forme définitive et président à la constitution de son endosperme (1).

Je n'ai pas besoin d'insister sur l'importance des résultats consignés dans ce mémoire, à la suite duquel les deux propositions suivantes purent être considérées comme acquises à la science : 1° Les ovules nus ne sont pas des anomalies et constituent à peine des exceptions. 2° L'ovule peut n'acquérir sa forme définitive qu'à une époque avancée de son existence.

A la même époque paraissait le mémoire de Griffith sur le développement des ovules du *Santalum*, du *Loranthus* et du *Viscum* (2).

Dans un long travail publié vers la même époque et consacré à l'organogénie générale des Légumineuses, Schleiden et Vogel ont fait connaître le développement comparé de l'albumen et de l'embryon dans ce groupe de plantes (3); les résultats divergents auxquels les ont amenés des recherches organogéniques portant sur divers types génériques ont parfaitement montré toute l'importance de semblables études poursuivies dans les genres d'une même famille ou les espèces d'un même genre (4).

L'étude du développement de la fleur et plus particulièrement de l'ovaire de l'*Œnothera suaveolens* conduisit, vers cette époque,

(1) J. Decaisne, *Mémoire sur le développement du pollen et de l'ovule du Gui* (*Mém. Acad. Brux.*, 1840 ; — *Ann. sc. nat.*, 2e sér., t. XIII).

(2) *Transact. Linn. Soc.*, vol. XVIII.

(3) Schleiden und Vogel, *Ueber das Albumen, insbesundere der Leguminosæ.*

(4) Au point de vue de la structure de l'ovule proprement dit, ces observateurs citent quelques faits intéressants. Ainsi, d'après eux, les Lupins n'ont qu'un seul tégument ovulaire, tandis que les autres Légumineuses en ont deux. Quant à la graine, ils montrèrent que l'albumen était loin de manquer constamment, ainsi qu'on le croyait, et que les Mimosées et certains genres appartenant aux Césalpiniées ou aux Papilionacées offraient dans leur semence une quantité plus ou moins considérable d'albumen. Ils notèrent dans le *Canna* la présence d'un *albumen chalazien*, etc.

M. Duchartre à formuler les principes de la méthode que l'on doit suivre dans de semblables recherches (1), et peu après, dans un long et beau mémoire consacré à l'histoire anatomique et organogénique de la Clandestine, cet exact observateur fit connaître dans tous leurs détails les différentes périodes de la vie de l'ovule et les principaux phénomènes qui président, soit à son évolution, soit à la formation de l'albumen ou à l'organisation de l'embryon (2). Depuis lors M. Duchartre a fait connaître le développement de l'ovule dans les Primulacées, les Caryophyllées, les Malvacées, etc. (3). Ces mémoires ont révélé plusieurs particularités curieuses, et, pour n'en citer qu'une, je rappellerai la rapidité avec laquelle, dans certains cas, l'ovule se recouvre de son tégument, rapidité dont j'aurai à présenter des exemples analogues dans plusieurs des types que j'ai étudiés, et en particulier chez diverses espèces du genre *Veronica*.

A la suite de ses études sur les arilles et les arillodes, M. J. E. Planchon se trouva naturellement conduit à examiner les parties qui, dans la graine, peuvent simuler l'existence de ces productions; il suivit, dans ce but, le développement des semences de diverses plantes, et particulièrement de quelques Véroniques (4).

L'ovule d'une curieuse Crucifère, le *Schizopetalon Walkeri*, fut suivi, dans les diverses phases de ses évolutions, par M. Barnéoud, qui reconnut parfaitement la profonde scissure divisant

(1) P. Duchartre, *Observations sur la fleur, et particulièrement sur l'ovaire de l'Œnothera suaveolens* (*Ann. sc. nat.*, Botanique, 1842, p. 1).

(2) P. Duchartre, *Observations anatomiques et organogéniques sur la Clandestine d'Europe* (Lathræa clandestina), dans *Mém. des savants étrangers*, t. X, 1848, p. 423-538, avec 8 planches. — *Comptes rendus*, 1843, t. XVII, p. 1328-1331.

(3) P. Duchartre, *Observations sur l'organogénie de la fleur, et en particulier de l'ovaire, chez les plantes à placenta central libre* (*Ann. sc. nat.*, 3ᵉ série, Botanique, t. II, 1844, p. 279-297, pl. 7-8). — *Observations sur l'organogénie florale des Caryophyllées* (*Revue botanique*, 1846-1847, t. II, p. 213-225). — *Observations sur l'organogénie de la fleur dans les plantes de la famille des Malvacées* (*Ann. sc. nat.*, 1845, p. 123-150, pl. 6-8). — *Observations sur l'organogénie florale et l'embryogénie des Nyctaginées* (*Ann. sc. nat.*, 1848, p. 263-284, pl. 16-19).

(4) J. E. Planchon, *Mémoire sur le développement et les caractères des vrais et des faux arilles, suivi des considérations sur les ovules de quelques Véroniques et de l'*Avicennia. Montpellier, 1844.—*Ann. sc. nat.*, 3ᵉ série, 1845, t. III, p. 275-312, pl. 11 et 12.

en deux segments linéaires chacun des deux cotylédons ; mais il s'exagéra l'importance de cette particularité, et décrivit ainsi dans cette plante un embryon possédant quatre cotylédons (1).

En 1849, parut un très-intéressant mémoire dû à M. L. R. Tulasne, et ayant pour but l'étude de l'embryogénie végétale considérée dans un certain nombre de familles (Scrofularinées, Campanulacées, Crucifères, etc.); on y trouve de précieux renseignements relatifs à la genèse de l'ovule, à la formation et à la croissance des téguments, à la constitution du sac, à l'imprégnation et à l'organisation de l'embryon. Le nom bien connu de cet habile observateur me dispense de faire l'éloge d'un travail où l'on ne cesse de rencontrer la plus minutieuse précision, et que j'aurai souvent d'ailleurs l'occasion de citer (2).

Les nombreuses notes présentées par Payer à l'Institut, et qu'il réunit plus tard dans son *Traité d'organogénie*, ont enrichi de peu de faits nouveaux l'histoire de l'ovule, et c'est à peine si, dans les « considérations générales » qui résument ses longues recherches, ce savant a consacré deux pages au développement de cette partie si importante (3), qui n'occupait d'ailleurs qu'une place secondaire dans le cadre de ses études.

Depuis cette époque, un certain nombre de monographies ont concouru à nous faire mieux connaître l'organisation et le développement de l'ovule et de la graine. On comprend aisément que je ne puisse les citer toutes ; aussi me bornerai-je à rappeler les mémoires les plus importants de MM. H. Schacht (4) et S. Rosanoff (5), les travaux classiques de M. Hofmeister (6), et puis ceux consacrés par M. Baillon à l'étude organogénique des

(1) Barnéoud, *Mémoire sur le développement de l'ovule et de l'embryon dans le* Schizopetalon Walkeri (*Ann. des sc. nat.*, BOTANIQUE, 3e série, 1846, t. V, p. 77-83, pl. 3).

(2) L. R. Tulasne, *Études d'embryogénie végétale* (*Ann. sc. nat.*, 3e série, t. XII, p. 22 et suiv., pl. 3-7).

(3) J. B. Payer, *Traité d'organogénie comparée de la fleur*. Paris, 1857, p. 738.

(4) *Die Blüthe und die Befrucht. von* Santalum. — *Ueber Pflanzen-Befrucht.*, in *Pringsh. Jahrbuch*, 1866-67.

(5) Rosanoff, *Morphol.-embryolog. Studien*, in *Pringsh. Jahrb.*, 1866-67.

(6) Hofmeister, *Neuere Beobacht. über Embryobild. der Phanerog.*, in *Pringsh. Jarb.*, 1858. — *Neue Beitr. zur Kenntn. der Embryobild. der Phanerog. Dicotyl.*

Euphorbiacées, des Morées, etc., travaux ayant le plus souvent pour but l'étude générale des verticilles floraux; mais offrant cependant un intérêt réel pour le sujet qui m'occupe.

Dans ces dernières années, d'autres travaux ont été publiés, sur ces mêmes questions, par divers savants français et étrangers ; sans changer notablement l'état de nos connaissances sur la marche du développement de l'ovule, ces mémoires ont révélé cependant certaines particularités intéressantes, mais qu'il serait trop long et peu utile d'énumérer.

Ce résumé historique, si rapide et trop incomplet, suffit pourtant à montrer toute l'importance des travaux consacrés à l'étude organogénique de l'ovule, de la graine et de l'embryon. Sous ce rapport, cette partie de la science paraît ne le céder à aucune autre, surtout quand on se reporte aux difficultés de semblables recherches, et si l'on considère qu'en raison même de leur nature, elles n'ont dû progresser que lorsque les instruments grossissants perfectionnés ont pu leur prêter un concours indispensable. Est-ce à dire néanmoins que tous les détails de ces importants phénomènes biologiques nous soient également connus? Je ne le pense pas: les nombreuses monographies publiées depuis trente ans, et dont je n'ai pu citer qu'une partie, ont presque constamment révélé quelque disposition nouvelle ou quelque particularité curieuse. Cette considération était un encouragement à entrer dans cette voie si largement frayée, et à tenter, malgré mon inexpérience, d'ajouter quelques observations à l'histoire de ce sujet; je m'estimerais amplement récompensé si j'avais rempli, au moins dans une faible part, la tâche que je m'étais imposée.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Ainsi que je l'ai dit au début de ce mémoire, il me semble convenable, avant de faire connaître en détail les faits observés dans telle ou telle plante, de grouper d'une façon générale les résultats auxquels m'a conduit l'ensemble de mes recherches, et de placer ainsi un certain nombre de jalons qui rendront plus aisée la compréhension de phénomènes toujours complexes

et s'accomplissant presque constamment avec une rapidité qui ne fait qu'accroître les difficultés de leur observation et de leur exposition.

La méthode que j'ai suivie devant être indiquée bientôt, je n'ai pas à m'y arrêter en ce moment, et j'aborde tout de suite l'ensemble des phénomènes dont j'ai dû suivre l'évolution, conservant ici l'ordre même dans lequel celle-ci s'effectue.

Ce travail étant spécialement consacré à l'étude organogénique de l'ovule et de la graine, peut-être s'étonnera-t-on d'y trouver parfois la mention des principaux changements que subit l'ovaire pour parvenir à son état parfait; aussi ferai-je remarquer que, tout en n'accordant à cette étude qu'une place très-restreinte et parfois presque nulle, je n'ai cependant pas cru pouvoir la sacrifier absolument, pensant qu'il y aurait quelque intérêt à suivre dans les principales phases de son développement l'organe dans lequel doit se développer l'ovule et où la graine se constituera à la suite de la fécondation. Une autre considération m'y poussait également : il est parfois malaisé d'indiquer, d'une façon suffisamment exacte, l'état extérieur de l'ovule dans lequel s'accomplit telle ou telle phase du développement, cet organe ne présentant souvent alors que quelques centièmes de millimètre ; les dimensions de l'ovaire permettent au contraire d'y trouver de plus sûrs points de repère, et c'est pourquoi j'ai tenu à indiquer et à figurer les formes qu'il présente au moment où ses ovules traversent telle ou telle période importante de leur évolution organique; j'espère avoir ainsi facilité les recherches des botanistes qui seraient désireux de répéter les observations consignées ici.

A un autre point de vue, l'étude de l'ovaire me semblait offrir encore un certain intérêt. On sait qu'à la suite de l'imprégnation les ovules se changent en graines et les carpelles deviennent des fruits; mais, tandis que dans les Scrofularinées et les Solanacées, les graines, presque toujours nombreuses, se trouvent insérées sur le placenta à une distance telle des parois carpellaires qu'elles ne contractent avec celles-ci aucune relation importante, on remarque au contraire que l'ovule unique des

Labiées et des Borraginées finissant par remplir la loge ovarienne, ne saurait être absolument séparé de celle-ci au point de vue organique, puisque c'est seulement dans les tissus du carpelle qu'il trouve une protection réelle, tandis que les graines de l'*Antirrhinum majus*, du *Digitalis purpurea* ou du *Nicotiana Tabacum*, présentent un test dur et résistant leur appartenant en propre; aussi, dans l'étude anatomique des graines des Labiées et des Borraginées, ai-je cru devoir figurer également les éléments qui forment les tissus de l'achaine.

Le développement de telle ou telle partie de l'ovaire peut d'ailleurs influer plus ou moins directement, en ce dernier cas, sur celui de l'ovule, et c'est ainsi que dans le *Borrago officinalis* on voit la partie inférieure de la loge carpellaire se gonfler et s'accroître progressivement de façon à constituer une sorte de corps arrondi inférieurement et plat supérieurement; le plateau constitué de la sorte a pour résultat d'élever le fond de la loge et d'empêcher toute incurvation de l'ovule dans cette direction. Mais ces faits devant être signalés à leur place naturelle et n'offrant qu'un intérêt secondaire, j'arrive immédiatement à l'examen des conditions générales qui président à la genèse et à l'évolution des ovules que j'ai pu étudier.

C'est sur le placenta que va se montrer l'organe dont l'étude organogénique et anatomique doit tout particulièrement m'occuper ici, je veux dire l'ovule. Son apparition se fait toujours de la même façon : vers la portion moyenne du placenta, si celui-ci doit porter plusieurs ovules, comme dans le *Veronica Buxbaumii*, ou vers sa base, si, comme dans le *Borrago officinalis*, la loge carpellaire doit contenir une seule graine, on voit apparaître un ou plusieurs mamelons selon les cas. Ces petites proéminences sont alors à peine indiquées et ne font qu'une bien légère saillie à la surface placentaire; examinées dans le *Digitalis purpurea*, le *Veronica Buxbaumii*, elles m'ont présenté, vers cette époque, un diamètre égal à $0^{mm},009$: aussi faut-il employer un grossissement relativement fort pour constater leur présence sur un lambeau de tissu placentaire (1).

(1) En raison même de ces faibles dimensions, on comprend que la forme exacte du

Dans l'âge suivant, l'ovule s'allonge de façon à former une sorte de cylindroïde encore bien-réduit, puisque chez les plantes que je viens de citer son diamètre varie entre 0^{mm},01 et 0^{mm},03. Au point de vue anatomique, ce corps pris à ces deux époques présente la structure la plus simple que l'on puisse imaginer : sa section est assez régulièrement circulaire et son tissu uniquement formé de cellules extrêmement petites, renfermant une substance granuleuse, et présentant, sur la coupe, une forme nettement circulaire, soit qu'on examine les éléments qui se trouvent au centre du petit mamelon nucellaire, soit qu'on s'attache au contraire aux utricules qui se trouvent à la périphérie de ce dernier et le limitent.

Tels sont les premiers états de l'ovule, et l'on ne saurait en effet imaginer rien de plus simple, au point de vue morphologique ou anatomique; mais les choses demeurent peu dans ces conditions rudimentaires: vers la base du mamelon nucellaire, ou quelquefois vers son tiers inférieur, rarement plus haut, apparaît une sorte de bourrelet plus ou moins régulièrement circulaire, parfois frangé, mais embrassant d'une manière constante la base de l'ovule autour duquel il forme une sorte de cupule. Ce bourrelet, ce gonflement, cette cupule, sont les premières traces d'une partie qui jouera un rôle considérable dans la vie de l'ovule et de la graine; ce sont les ébauches de ce tégument qui, bien réduit encore, ne tardera pas à grandir et à envelopper complétement le nucelle qui forme seul, à l'âge qui m'occupe, la presque totalité de la masse ovulaire.

Les résultats acquis actuellement à la science par les travaux dont j'ai succinctement résumé les conclusions dans l'introduction, montrent bien quel intérêt s'attache à la constatation précise de la genèse et du développement du tégument ovulaire; aussi ai-je cru devoir donner à cette question une attention par-

mamelon ovulaire ne présente qu'un intérêt assez faible; aussi ne ferai-je qu'indiquer les différences présentées, sous ce rapport, par des plantes appartenant à la même famille. Dans les *Veronica Buxbaumii*, *hederæfolia*, etc., le mamelon est très-sensiblement sphérique; chez l'*Antirrhinum majus*, au contraire, il présente une apparence claviforme.

ticulière et nécessaire pour permettre d'arriver à une connaissance exacte de ce point si délicat de l'évolution du jeune ovule. C'est surtout ici qu'il convient de se reporter constamment à cette notion de l'état antérieur dont j'aurai bientôt à parler d'une manière plus générale: l'observation du premier âge est absolument indispensable pour constater la présence ou l'absence d'un tégument, et c'est probablement faute d'avoir eu égard à cette considération, que certains botanistes ont admis des ovules nus chez quelques plantes où l'on sait maintenant qu'il existe un tégument parfaitement conformé. La difficulté de ces recherches est d'ailleurs souvent très-grande dans diverses plantes, et en particulier chez les Scrofularinées; quelques chiffres permettront de bien l'apprécier : dans le *Veronica Buxbaumii*, l'ovaire a $0^{mm},96$ de longueur et renferme des ovules dont la longueur est de $0^{mm},05$, la largeur de $0^{mm},016$ et dont le tégument a déjà achevé presque entièrement son évolution (1). Qu'un observateur prenne un de ces ovules, et s'il ne parvient à découvrir leur micropyle ponctiforme, il croira d'autant mieux voir un ovule nu que l'examen extérieur de la fleur pourra lui faire supposer qu'il a réellement sous les yeux le premier âge de cet organe.

Je viens de prononcer le nom du micropyle, dernier terme de l'évolution du tégument, je dois donc dire quelques mots de celle-ci. Le bourrelet cupuliforme dont j'indiquais tout à l'heure l'apparition vers la base du mamelon nucellaire, s'est rapidement accru par son bord libre et tend à gagner la portion apicilaire du nucelle, le temps nécessaire pour la terminaison de cette croissance étant d'ailleurs variable et assez différent dans les diverses familles que j'ai étudiées. Chez les *Veronica*, comme je l'ai dit, le tégument s'accroît avec une rapidité étonnante; mais dans le *Paulownia imperialis*, la saillie du nucelle persiste déjà plus longtemps; chez les *Nicotiana Tabacum* et *rustica*, le tégument semble rester stationnaire durant une période très-appréciable, pendant laquelle il recouvre à peine les deux tiers

(1) Chez le *Digitalis purpurea*, les dimensions sont à peu près les mêmes; dans l'*Antirrhinum majus* et le *Linaria minor*, elles sont peu différentes.

inférieurs de l'ovule (1). Dans les Labiées (*Melissa officinalis*, *Lamium garganicum* et *maculatum*, etc.), le tégument recouvre rapidement l'ensemble du nucelle; dans les Borraginées, et en particulier chez le *Borrago officinalis*, on constate une certaine lenteur dans l'achèvement de ce mouvement, dont la fin dernière est de ne plus laisser saillir qu'une très-faible portion de nucelle; bientôt même les bords de l'ouverture micropylaire se rapprochent davantage encore et ne laissent plus entre eux qu'une ostiole fort réduite.

Jusqu'ici j'ai décrit la formation de l'ovule et du tégument de façon à laisser supposer que le micropyle et le point d'insertion de l'ovule étaient opposés l'un à l'autre. Un tel mode d'exposition pouvait peut-être rendre plus aisée la compréhension de ces phénomènes dont l'ensemble est passablement compliqué, mais il ne se trouve plus en rapport avec la forme dernière de l'ovule à laquelle j'ai hâte d'arriver pour détruire toute supposition erronée. Jamais, en effet, l'ovule adulte des Scrofularinées ou des Solanacées, pas plus que celui des Labiées ou des Borraginées, ne présente une disposition telle que la verticale passant par son centre relie l'attache du funicule au micropyle. En résumant les caractères organogéniques de certaines espèces de *Veronica*, j'aurai à signaler des graines dont la forme dernière se rapproche assez du type orthotrope; dans d'autres espèces du même genre, l'ovule, décrivant une courbe plus allongée, semble se rapprocher du type campylotrope; mais, d'une façon générale, on peut les rapporter à la grande division des ovules anatropes.

Quant au raphé, je ne l'ai que rarement trouvé formé par un cordon fibro-vasculaire (*N. Tabacum*, etc.); le plus souvent il était représenté par une traînée de cellules allongées, laquelle est fort apparente dans certaines Véroniques et dans l'Euphraise. Au point de vue de l'anatomie générale, ces dissemblances ne présentent d'ailleurs qu'une faible importance, et l'on peut admettre que, dans ce dernier cas, les éléments ont subi un simple arrêt de

(1) En raison de cette particularité organogénique, le *Nicotiana Tabacum* peut être indiqué comme l'un des types sur lesquels la formation et le développement du tégument soient le plus faciles à suivre.

développement, car les cellules formant ces raphés n'ont plus qu'une bien courte période organique à franchir pour revêtir les caractères propres aux vaisseaux. Je ne veux pas insister sur ces questions, l'histoire organogénique du raphé me semblant encore peu connue dans ses détails et dans les relations qu'elle peut présenter avec les différentes périodes du développement de l'ovule et de la graine. Cette étude, qui exige des recherches toutes spéciales que je n'ai pu, à mon grand regret, faire rentrer dans le cadre déjà trop étendu de ce travail, a déjà été cependant l'objet de mémoires importants publiés dans ce recueil par MM. Van Tieghem et Le Monnier (1).

Quoi qu'il en soit, l'ovule se recourbe vers le funicule, et le tégument suivant ce mouvement et croissant en même temps de la façon que j'ai indiquée plus haut, le micropyle se trouve ainsi reporté vers la paroi placentaire. Il convient toutefois de faire ici une distinction très-importante : le mouvement curviligne qui fait prendre au micropyle cette nouvelle position peut s'opérer dans deux directions absolument opposées : chez les Scrofularinées et les Solanacées, par exemple, l'ouverture micropylaire est dirigée vers le fond de la loge carpellaire, l'ovule s'étant recourbé vers la base de l'ovaire ; mais chez les Borraginées (*Borrago officinalis*, etc.), l'évolution s'opère en sens inverse, et le micropyle se trouve entraîné non plus vers le fond de la loge, mais vers son sommet. Cette distinction n'est pas seulement intéressante au point de vue de la genèse de l'ovule, elle est encore très-importante pour la détermination des parties de la graine dont la situation semble au premier abord fort anomale : la radicule paraît pendre de la voûte de l'achaine (2), et l'on ne peut s'expliquer cette bizarre apparence qu'en ayant égard aux

(1) Van Tieghem, *Note sur les divers modes de nervation de l'ovule et de la graine* (*Compt. rend.*, LXXIII, août 1871, et *Ann. sc. nat.*, 5e série, XVI, p. 228. — Le Monnier, *Ann. sc. nat.*, l. c., p. 233.

(2) Ceci doit être pris dans un sens figuré et trouve son explication dans l'apparence de la graine des Borraginées, qui est exactement incluse dans la cavité de l'achaine et se trouve protégée par les tissus durs et résistants qui constituent les parois de ce fruit. J'aurai d'ailleurs à revenir sur ce sujet en traitant du développement de l'ovule et de la graine dans divers types de famille

données fournies par l'examen successif des divers âges de l'ovule, lequel montre bien que la radicule occupe ici sa position normale et se trouve dans la direction du canal micropylaire.

Je viens de dire que la croissance du tégument et l'incurvation de l'ovule se faisaient en même temps; j'ajouterai que cette simultanéité crée une difficulté nouvelle pour la constatation des phénomènes qui se passent dans ces premières périodes. Chez les *Veronica Buxbaumii* et *speciosa*, par exemple, un ovule long de $0^{mm},05$ ne présente plus qu'une saillie nucellaire de $0^{mm},016$; chez diverses autres Scrofularinées, Labiées, etc., les dimensions sont tout aussi réduites, et dans un bouton encore fort petit on trouve les ovules déjà incurvés et dont le micropyle, rapproché du funicule, n'est que difficilement visible : chez les Borraginées il serait, par sa position, plus aisé à découvrir, mais les parois carpellaires l'entourent si étroitement, qu'on ne peut l'observer qu'en employant un artifice dont j'aurai bientôt l'occasion de parler.

Au point de vue anatomique, l'ovule présente, après la constitution de son tégument, une modification notable : il est bien encore formé de tissu utriculaire, mais les éléments n'y offrent plus les mêmes caractères lorsqu'on les examine au centre de la masse nucellaire ou à la phériphérie de l'ovule ; dans l'intérieur, ce sont des cellules polyédriques, à contours encore parfois peu arrêtés, mais gardant cependant les marques de leur pression réciproque; leurs parois sont peu épaisses. Les utricules qui limitent la coupe présentent au contraire une section rectangulaire ou carrée, leurs parois sont souvent plus résistantes que celles des précédentes, et leur face externe est parfois sensiblement convexe; leurs dimensions générales sont le plus souvent supérieures à celles des éléments qui se trouvent au centre, mais cette dernière dissemblance n'est pas constante et ne doit être énoncée qu'avec une certaine réserve; il n'en est plus de même pour l'épaisseur des parois et la forme de ces cellules, dont les caractères sont très-nets et tels que je viens de les indiquer.

Le mémoire déjà cité de M. A. Brongniart a parfaitement établi que le sac embryonnaire était la partie essentielle de

l'ovule, et que de son apparition datait pour cet organe une période toute nouvelle d'activité organique. Jusque-là le nucelle (1) était une masse cellulaire homogène et continue, et méritait assez bien le nom de « noyau parenchymateux » sous lequel Robert Brown le désignait; mais, vers le moment où l'ovule achève son mouvement d'incurvation, parfois même plus tôt, on voit une cellule située souvent vers la partie supérieure du nucelle, rarement vers sa région centrale, grandir rapidement et former ainsi peu à peu une cavité qui se présente, vue par transparence, comme une tache grisâtre; la forme de cette cavité est très-variable, qu'on l'observe dans les plantes différentes ou dans une même plante aux diverses périodes de son développement. Ainsi, dans le *Veronica arvensis*, le sac embryonnaire est d'abord sphéroïdal, puis, s'allongeant selon son diamètre vertical, il devient elliptique, ou plus ou moins piriforme; parfois, enfin, son extrémité supérieure se renfle en boule; dans le *Veronica Beccabunga*, sa forme est presque constamment arrondie; elle est ovalaire dans le *Veronica Chamædrys* et le *Borrago officinalis;* arrondie, puis elliptique dans le *Veronica acinifolia;* recourbée en crosse ou diversement renflée dans le *V. agrestis*, etc. Le sac embryonnaire présente, durant une longue période de son développement, la forme d'une cornue chez le *Digitalis purpurea* et celle d'un matras dans l'*Antirrhinum majus* et le *Linaria minor;* dans d'autres plantes appartenant à la même famille, sa configuration est encore plus bizarre, et peut causer ainsi de singulières erreurs d'interprétation.

Par les progrès successifs du développement de ce sac, le tissu du nucelle se trouve progressivement repoussé; il est même résorbé peu à peu, et le sac embryonnaire arrive ainsi à n'être plus recouvert que par le tégument ovulaire. J'ai ainsi figuré un ovule du *Veronica Buxbaumii*, pris à une époque déjà avancée de son développement : on voit qu'une incision pratiquée à la mince enveloppe tégumentaire suffit

(1) Plusieurs auteurs modernes font du mot *nucelle* un substantif féminin; je ne crois pas rationnel d'adopter cette qualification pour un mot qui dérive de *nucleus*, noyau.

pour mettre à nu le sac embryonnaire parfaitement ovoïde qui s'y trouve renfermé (1).

Le laps de temps nécessaire à la formation de cette cavité est naturellement très-variable, mais les Véroniques offrent encore, à ce point de vue, une rapidité d'évolution très-comparable à celle que j'ai eu l'occasion d'indiquer dans ces plantes en y décrivant les progrès du nucelle et du tégument. Chez le *Digitalis purpurea* on remarque encore que la cavité centrale grandit assez vite; mais les *Nicotiana Tabacum* et *rustica*, ainsi que plusieurs Borraginées, montrent au contraire des sacs embryonnaires dont le développement est plus lent.

Je n'ai jamais constaté de hernie véritable du sac embryonnaire, et je crois que cette particularité est, en définitive, beaucoup plus rare que certains auteurs ne semblent le croire; il faut d'ailleurs s'entendre sur le sens du mot *hernie*. Jamais je n'ai vu dans les types compris dans mes études le sac perforer le tissu du nucelle et le tégument, ou simplement le nucelle, pour venir faire saillie hors de ces enveloppes; mais il est bien évident que lorsque le sac embryonnaire prend de bonne heure une forme anomale comme dans certaines Véroniques, dans l'*Antirrhinum* ou le *Digitalis*, le tissu nucellaire, ne subissant pas un envahissement égal sur tous les points de son étendue, présentera nécessairement une résorption inégale de ses éléments, et, par suite de cette disposition, certaines parties du sac auront déjà gagné le voisinage du tégument, tandis que d'autres se trouveront encore environnées presque complétement par les tissus du nucelle. Qui dit hernie, dit sortie après rupture ou ouverture accidentellement ou brusquement produite, et j'avoue n'avoir jamais rien constaté de semblable dans les plantes où j'ai pu suivre les progrès du sac embryonnaire et la disparition progressive du nucelle ambiant (*Veronica* en particulier).

On conçoit qu'il soit assez difficile d'observer d'une façon suffisante le contenu du sac; aussi me bornerai-je à indiquer que, dans tous les cas où j'ai pu l'examiner, il m'a présenté l'apparence d'un

(1) Pl. 1, fig. 20.

liquide granuleux et grisâtre bien différent de celui que renferment les utricules polyédriques du nucelle, lequel est généralement un liquide homogène.

Lorsque les tubes polliniques sont parvenus dans le voisinage des ovules, le micropyle de ceux-ci offre encore une ouverture en forme d'entonnoir, sorte de canal que j'ai cru devoir figurer à plusieurs reprises (1); le boyau pollinique parcourt ainsi un trajet de quelques centièmes de millimètre (12 au plus), et atteint le sac, dont il déprime la fine membrane; jamais je ne l'ai vu perforer celle-ci; il est d'ailleurs inutile d'insister sur ce point, la doctrine Horkelienne étant jugée depuis longtemps. La vésicule embryonnaire fécondée se segmente d'après le mode bien connu, pour former le suspenseur, qui peut atteindre une longueur variable (2) et à l'extrémité duquel se trouve l'embryon. Dans certains cas, j'ai pu voir les vésicules antipodes, toujours situées vers le pôle opposé du sac embryonnaire (3).

En ce moment, la capacité du sac est remplie par un liquide plasmique dans lequel baignent l'embryon et son suspenseur. Selon M. Robin (4), ce liquide doit être regardé comme l'analogue du vitellus, le sac embryonnaire représentant le véritable *ovule* des végétaux et sa paroi jouant le rôle de la membrane vitelline; c'est surtout dans le *Borrago officinalis* que j'ai trouvé ce liquide en grande abondance.

L'embryon conserve peu cet état sphéroïdal, et bientôt on le voit s'aplatir et présenter la première ébauche de la radicule, toujours tournée vers le micropyle; les cotylédons se dessinent de mieux en mieux, et l'ensemble de l'embryon finit par ressembler assez bien à un cœur de carte à jouer (5).

(1) Pl. 1, fig. 14; pl. 3, fig. 10; pl. 5, fig. 4, 6; pl. 4, fig. 25, 11, 12; pl. 6, fig. 9, 11.

(2) Pl. 3, fig. 16, 17; pl. 4, fig. 14'; pl. 5, fig. 4, 6; pl. 4, fig. 3; pl. 4, fig. 26, 27; pl. 6, fig. 11.

(3) Pl. 4, fig. 26; pl. 6, fig. 11.

(4) Ch. Robin, *Sur l'existence d'un ovule chez les mâles et chez les femelles des animaux et des végétaux* (*Compt. rend.*, 1848, t. III, p. 528). — *Dictionnaire de Nysten*, 12e édition, 1865, art. OVULE.

(5) Pl. 2, fig. 3, 3'; pl. 5, fig. 8, 10; pl. 3, fig. 24; pl. 4, fig. 28, 29, etc.

En même temps on remarque que le contenu du sac s'organise à l'état de tissu cellulaire. Dans ce liquide granuleux apparaissent des noyaux ; autour de chacun d'eux se rassemble une pelote de protoplasma, puis une enveloppe de cellulose se montre autour d'elle et la transforme en une cellule végétale ordinaire. Ces cellules ainsi produites par formation libre se multiplient à leur tour par division, et la masse de l'albumen se constitue ainsi rapidement.

Ces phénomènes dont le sac embryonnaire est le siége présentent, surtout dans leur première période, la plus grande analogie avec ce qu'on observe dans le vitellus animal, et justifient bien l'assimilation que je rappelais tout à l'heure. Il convient d'ailleurs de remarquer que les cellules ainsi produites sont plus ou moins grandes dans chaque plante : c'est ainsi que dans certains groupes du règne animal (*Oiseaux*, etc.) les phénomènes du développement présentent diverses particularités de valeur variable, sans cesser cependant jamais d'être comparables.

En reprenant l'histoire de l'embryon au point où je viens de la laisser, c'est-à-dire au moment où les cotylédons et la radicule viennent de s'ébaucher, je dois tout d'abord rappeler que ces parties s'accroissent assez rapidement et se montrent formées par un tissu cellulaire à éléments remarquables par leur petit diamètre et leurs minces parois. Ce caractère histologique me semble constant dans les familles que j'ai étudiées, et je pense qu'il mérite, à ce point de vue, un certain intérêt. M. Duchartre est, je crois, le premier qui l'ait signalé dans l'embryon de la Clandestine (1).

La radicule s'allonge fort peu dans la majorité des cas, mais s'accroît notablement en largeur et devient massive, caractère qu'elle présente principalement chez les Labiées et les Borraginées ; les cotylédons s'étendent de plus en plus, et l'embryon acquiert ainsi sa forme définitive. Dans l'*Antirrhinum majus*, il est allongé ; chez le *Veronica acinifolia*, il est renflé, etc. Sous ce rapport, la famille des Solanacées offre des types bien diffé-

(1) Duchartre, *loc. cit.*

rents : ainsi l'embryon du Tabac est à peine infléchi, tandis que celui du *Datura Stramonium* se recourbe sur lui-même de façon à figurer une véritable crosse. Dans beaucoup de Véroniques, l'embryon est légèrement courbe, et demeure ainsi parallèle à la paroi de l'ovule ou plutôt de la graine, car à cette époque l'embryon a atteint à peu près ses dimensions dernières et l'albumen s'est constitué.

Cette formation s'est faite très-simplement, les larges cellules mentionnées plus haut dans la cavité du sac s'étant segmentées comme on l'a vu, et ayant ainsi produit peu à peu une masse utriculaire à éléments serrés les uns contre les autres. La section de ces cellules est polygonale, leurs parois sont épaisses, leur contenu offre des granules colorables en brun par l'iode (1). Dans les Solanacées et les Scrofularinées, la masse albumineuse est le plus souvent considérable, et sur une coupe transversale de la graine on a, de dehors en dedans :

1° Le test ;
2° L'albumen ;
3° L'embryon.

Chez les Borraginées et les Labiées, au contraire, au-dessous du test, se trouve l'embryon, à moins qu'il n'existe une lame plus ou moins épaisse d'albumen, comme c'est le cas dans l'*Anchusa italica* ou dans le *Cynoglossum officinale*.

Chez les Labiées, et en particulier dans le genre *Lamium*, on voit se former un albumen qui se réduit à mesure que l'embryon se développe, tandis qu'il persiste chez le *Scutellaria* (2).

La graine diffère très-notablement de l'ovule, et par sa forme, et aussi par son aspect extérieur. Celui-ci ne tarde pas en effet à revêtir des caractères remarquables, et qui varient dans les divers genres d'une même famille et souvent même dans les

(1) Dans les premiers temps de sa formation, l'albumen du *Lamium maculatum* bleuit au contact de l'iode.

(2) M. Decaisne admet que l'albumen formé dans le sac embryonnaire est constamment charnu, et c'est en effet ce que j'ai toujours observé. (Voy. Decaisne et Le Maout, *Traité général de botanique*, p. 107.)

espèces d'un même genre. Les Véroniques en offrent de nombreux exemples : dans le *Veronica hederæfolia*, la surface de la graine est papilleuse ; chez le *V. Buxbaumii* et le *V. arvensis*, elle présente des sortes de cannelures encore plus nettement dessinées chez quelques espèces voisines. Dans l'*Antirrhinum majus*, le *Linaria minor*, l'*Euphrasia officinalis*, le *Digitalis purpurea*, les *Nicotiana*, etc., cette surface porte de nombreuses côtes saillantes qui lui donnent un aspect aréolé.

Dans un beau mémoire que j'ai déjà cité et dont il sera fait de nombreuses mentions dans le cours de ce travail, M. Tulasne admet que chez les Scrofularinées le tégument ovulaire constitue seul le tégument de la graine, grâce aux diverses modifications qu'il subit progressivement ; toutes les observations résumées ici m'ont conduit à une conclusion analogue, et je crois que si le tissu extérieur du nucelle contribue à la formation ainsi qu'à l'épaississement du test, ce n'est que d'une façon exceptionnelle.

Lorsque la graine offre une surface à peu près lisse sur toute son étendue, comme dans certains *Veronica*, le tégument ne subit pas de transformations importantes : ses cellules constitutives s'accroissent, leurs parois s'épaississent et leur face libre devient dentelée ou papillaire ; là se bornent les changements dont cet organe est le siége. Mais il en est tout autrement chez les Scrofularinées, qui présentent un test épais et aréolé. Dans l'*Antirrhinum*, par exemple, on remarque à une période avancée de la vie de l'ovule que sur certains points de sa surface, les cellules de la périphérie, d'abord déprimées, s'allongent sensiblement, puis s'accolent les unes contre les autres, épaississent leurs parois, deviennent fibroïdes, et constituent ainsi, en dernière analyse, les pointes qu'on remarque à la surface de la graine (1). Chez le *Digitalis purpurea*, l'*Euphrasia officinalis* (2) et le *Linaria minor*, les choses se passent sensiblement de la même façon.

Dans les diverses plantes que j'ai pu étudier, on remarque que

(1) Pl. 3, fig. 25.
(2) Pl. 4, fig. 7.

le nombre des assises cellulaires entrant dans la constitution de la zone tégumentaire est assez variable : ainsi dans l'*Antirrhinum*, il y en a trois ou quatre, parfois plus (1) ; dans l'*Euphrasia*, leur nombre ne dépasse pas trois (2) ; dans le *Salvia Sclarea*, il se réduit à deux (3) ; enfin dans la plupart des Véroniques (4) et des Solanacées (5) il n'y a qu'une seule assise recouverte d'une couche cuticulaire. Cependant, dans ces plantes, le tégument ovulaire comprenait toujours plusieurs assises de cellules ou tout au moins deux ; aussi me crois-je autorisé à admettre, avec M. Tulasne (6), que dans certains de ces cas le test est formé par l'assise la plus interne du tégument ovulaire. On se confirme dans cette opinion en considérant que, dans certaines graines dont le test séminal est formé d'une seule assise de cellules, on remarque parfois, à la surface de celle-ci, des débris provenant de l'assise qui lui était immédiatement superposée dans le tégument ovulaire (*Datura*, etc.).

Pour terminer ce qui a trait à ces considérations générales, il me reste à faire connaître la méthode que j'ai suivie, et à indiquer succinctement ses caractères et les motifs qui m'ont déterminé à l'employer.

En raison de la nature même de ce travail et des exigences qu'il comportait, j'ai cru indispensable de compléter l'examen organogénique par l'étude comparée des éléments anatomiques considérés aux principales périodes de la vie de l'ovule et de la graine. Je ne pense pas qu'on puisse jamais suivre exactement l'évolution d'un organe au moyen de coupes anatomiques et avec le seul concours du microscope composé ; mais j'estime très-avantageuse cette méthode qui corrobore les résultats obtenus dans la dissection par l'étude des modifications subies par les tissus et les éléments aux diverses périodes considérées.

Les grossissements dont je me suis servi ont généralement

(1) Pl. 3, fig. 28.
(2) Pl. 4, fig. 7.
(3) Pl. 8, fig. 2' c, d.
(4) Pl. 2, fig. 13 ; pl. 5, fig. 7.
(5) Pl. 5, fig. 1, 2, 5, 8.
(6) L. R. Tulasne, *loc. cit.*, p. 49.

varié entre 50 et 400 diamètres; j'ai rarement dépassé ce dernier chiffre : cependant, lorsque j'ai eu à étudier les modifications de certains éléments, et particulièrement des cellules du tégument, j'ai employé avec succès une lentille à immersion donnant 1000 diamètres. Quant à la dissection sous le microscope simple, les précautions qu'elle exige et les manœuvres qu'elle nécessite sont trop connues pour qu'il soit nécessaire de les rappeler ici. A ce sujet pourtant, je crois devoir indiquer un procédé qui m'a rendu les plus grands services pour l'étude des Labiées et des Borraginées, et dont les botanistes se livrant à de semblables recherches pourront tirer peut-être quelque profit. Chez ces plantes, on sait qu'il n'existe généralement qu'un ovule dans chaque loge ovarienne, dont on ne peut l'extraire que difficilement intact en ouvrant la paroi carpellaire par sa portion supérieure; ayant éprouvé plusieurs déconvenues en manœuvrant de la sorte, j'ai modifié de la façon suivante le manuel opératoire. Au lieu d'entamer la loge ovarienne par sa portion supérieure et libre, je l'attaque par sa base. Introduisant horizontalement une aiguille à cataracte sous l'insertion même du carpelle, je taille ainsi une sorte de petit plateau que j'enlève par un mouvement d'abaissement, et qui me présente le jeune ovule porté par le plateau carpellaire dont je ferai connaître l'évolution et la situation lorsque je m'occuperai spécialement de l'organogénie des Borraginées.

Dans l'examen successif des diverses phases par lesquelles passe l'ovule, de même que dans l'étude des modifications histologiques dont ses tissus sont le siége, je me suis attaché à considérer attentivement l'*état antérieur* de l'organe, état antérieur dont M. Chevreul a formulé nettement la notion (1) et dont on doit constamment tenir compte dans les études organogéniques. L'observateur qui se borne à suivre l'évolution d'un élément anatomique est dans l'obligation de tenir compte de cet état antérieur, s'il ne veut s'exposer à de graves erreurs; il est aisé d'imaginer combien cette obligation devient plus étroite lorsqu'on

(1) Chevreul, *De la nécessité dans l'organogénie d'établir comment l'observateur conçoit l'état antérieur* (*Journal des savants*, 1840, p. 717).

se propose d'étudier la genèse et l'évolution d'un organe, partie complexe formée par divers éléments anatomiques. L'étude de l'ovule des Véroniques, celle de la graine des Labiées, etc., en offriront fréquemment la preuve.

Dès 1842, ces principes ont été appliqués par M. Duchartre, qui montre combien « il est indispensable de remonter à l'ori- » gine première de l'organe, et de le suivre pas à pas dans toutes » les phases de son évolution, afin de se rendre compte des mo- » difications qui surviennent, soit dans sa forme, soit dans ses » rapports (1) ». C'est en effet dans les recherches du genre de celles-ci qu'il convient d'avoir constamment égard à ces considérations; en agissant de la sorte, plus d'une erreur peut être évitée. J'ai pu apprécier, dans le cours de ce travail, les avantages considérables que présente cette méthode.

J'ai déjà dit, au début de ce chapitre, que l'histoire du développement ovarien n'occuperait qu'une place très-limitée dans ce mémoire ; je dois ajouter, à ce propos, que les divers points du développement de l'ovule et de la graine se trouveront parfois traités avec une étendue inégale dans les divers types d'un même genre ou d'une même famille. C'est ainsi, par exemple, que dans les Scrofularinées, les premiers âges de l'ovule et son évolution générale seront principalement décrits avec de minutieux détails chez diverses espèces du genre *Veronica*, en raison même des dissemblances profondes que présentent ces plantes considérées au point de vue de la rapidité avec laquelle l'ovule s'incurve ou se recouvre de son tégument, ou bien encore au point de vue de la configuration de la graine. Les productions spermodermiques, les caractères différentiels que peut présenter le test de la graine, seront au contraire étudiés surtout dans l'*Antirrhinum majus*, de façon à pouvoir être notablement abrégés chez divers types voisins, tels que le *Digitalis purpurea* et le *Linaria minor*. Le développement du sac sera au contraire décrit avec une étendue presque égale dans plusieurs *Veronica*, dans l'*Antirrhinum*, dans

(1) P. Duchartre, *Observations sur la fleur et particulièrement sur l'ovaire de l'Œnothera suaveolens* (*Ann. sc. nat.*, 2ᵉ série, 1842, XVIII, p. 339).

l'*Euphrasia officinalis* et dans le *Digitalis*, en raison même de ses formes variables et parfois bizarres, de la rapidité ou de la lenteur de son accroissement, de la nature de son contenu, etc. L'anatomie de la graine, la constitution de l'embryon, seront examinées dans tous les genres principaux (*Veronica*, *Antirrhinum*, *Digitalis*, *Euphrasia*, *Linaria*, *Melampyrum*). Ce que je viens de dire des Scrofularinées peut s'appliquer également aux Solanées, aux Labiées et aux Borraginées ; dans cette dernière famille, je me suis attaché tout particulièrement à l'étude anatomique de la graine, qui, comme on sait, est tantôt pourvue d'un mince albumen et tantôt, au contraire, exalbuminée. Cette considération ne m'a d'ailleurs pas fait négliger l'étude organogénique de l'ovule, dont la connaissance était indispensable pour faire comprendre la situation de la radicule, situation fort bizarre au premier coup d'œil.

Telle est la méthode que j'ai suivie et tels sont les principes qui m'ont guidé durant tout le cours de ces recherches : lorsqu'un point m'a paru douteux ou vague, je n'ai pas hésité à reprendre aussitôt son étude d'une façon complète. J'espère donc m'être entouré de toutes les garanties désirables, sans imaginer pour cela avoir complétement et exactement rempli la tâche que je m'étais imposée. De trop nombreuses lacunes s'y remarqueront, sans doute, pour lesquelles je n'ai d'autres excuses que les difficultés inhérentes à toute recherche organogénique.

SCROFULARINÉES.

Par ses affinités naturelles, par les caractères remarquables qu'on rencontre chez certains de ses types génériques, la famille des Scrofularinées est une des plus intéressantes de la série des Corolliflores. Des travaux antérieurs, que j'ai précédemment cités et dont les plus importants sont dus à MM. L. R. Tulasne et J. E. Planchon, ont montré que le développement de son ovule et la constitution de sa graine offraient d'intéressantes dispositions organiques ; aussi ai-je pensé ne pouvoir mieux com-

mencer mes études qu'en examinant tout d'abord ce groupe si remarquable au point de vue où je devais me placer. Le plan de mon travail étant, par la nature même du sujet, assez différent de ceux que s'étaient tracés les habiles observateurs qui m'ont précédé, j'ai dû suivre une autre marche, et éviter ainsi de retracer les phénomènes dont ils nous ont fait connaître la nature et l'évolution.

Le genre *Veronica*, si singulier par plusieurs de ses caractères, m'a longuement occupé, et c'est par sa description organogénique que commencera la série de mes observations, qui ont également porté sur divers autres types de la famille ; je me suis efforcé d'en varier les principales conditions, afin d'éviter, en une certaine limite, des répétitions presque inévitables dans un travail tel que celui-ci.

VERONICA BUXBAUMII.

(Planche 1.)

I. — L'ovaire est représenté d'abord par une éminence centrale, irrégulièrement sphérique, très-comparable à un petit mur circulaire, et dont le sommet offre une dépression assez sensible pour lui donner l'apparence d'une troncature (1).

Le diamètre transversal diminuant peu à peu, tandis que le diamètre vertical augmente, la masse ovarienne ne tarde pas à prendre une forme presque sphérique ; en même temps on voit l'échancrure apicilaire s'atténuer ou rester tout au moins stationnaire.

Cette dépression s'effaçant même complétement à l'âge suivant, l'ovaire présente alors une apparence globuleuse, mais cette forme ne tarde pas à se modifier de façon à donner à cet organe l'apparence sous laquelle on la connaît dans la fleur formée.

A la surface de l'ovaire apparaît, en effet, une double ligne bilatérale d'abord à peine marquée, dirigée dans le sens vertical

(1) Pl. 1, fig. 1.

et occupant le milieu du mamelon ovarien ; s'accentuant de plus en plus, cette ligne devient même, par le renflement des deux carpelles, un véritable sillon qui se bifurque à ses deux extrémités, de sorte que la masse ovarienne n'est plus constituée par une masse sphérique et indivise, mais présente, au moment qui m'occupe, l'apparence de deux demi-sphères accolées l'une à l'autre.

Quant au sommet de l'ovaire, j'ai indiqué la disparition progressive de la dépression qu'on y remarquait dans le premier âge : en se rapprochant, les bords qui limitaient cette petite cupule forment, par leur réunion et leur fusion, un petit mamelon médian, base et premier rudiment du style qui se constitue bientôt avec la forme grêle et élancée qu'il conservera toujours ; plus tard, son sommet se divise en un double stigmate, grâce à une série de transformations trop peu intéressantes pour que je croie utile de m'y arrêter.

Pour en finir avec ces diverses périodes du développement de l'ovaire, il convient de remarquer que le réceptacle se gonfle à sa base et s'accroît en même temps dans le sens transversal, de façon à constituer bientôt le disque sur lequel repose l'ovaire.

II. — C'est sur la cloison bilatérale séparant en deux loges antéro-postérieures la cavité ovarienne que se montrent les ovules : vers la région moyenne de cette cloison placentifère se forment de très-petites masses globuleuses, qui en sont les premiers rudiments ; ces petites sphérules nées sur le milieu du placenta sont bientôt accompagnées, tant au-dessus qu'au-dessous, de corps absolument semblables, mais nécessairement plus jeunes. Les ovules se trouvent disposés en deux séries presque parallèles (1) ; des coupes pratiquées en ce moment, à travers ces petites masses, les montrent constituées uniquement par un tissu cellulaire dont les éléments sont sphéroïdaux et fort semblables entre eux, qu'on examine les utricules de la phériphérie ou celles du centre.

(1) Pl. 1, fig. 2.

A ce premier âge, l'ovule, presque régulièrement sphérique, repose sur le placenta par une base assez large, mais qui va se modifier rapidement et profondément. Cette portion basilaire, conservant en effet le même diamètre transversal, ne tarde pas à s'accroître dans le sens vertical (1), et bientôt l'ovule apparaît supporté par un petit pied qui l'attache au placenta, pied qui est la grossière et informe ébauche du funicule. Vers cette époque, une autre modification plus importante se produit à la surface de l'ovule. Autour de sa masse apparaît, en effet, un petit bourrelet assez régulièrement circulaire, offrant un relief déjà sensiblement accusé, et qui n'est autre chose que le premier état du tégument ovulaire (2). S'accroissant rapidement vers l'extrémité libre du mamelon nucellaire qu'elle accompagne dans son mouvement d'incurvation (3), cette enveloppe ne tarde pas à recouvrir complétement le nucelle ; pour donner une idée de la rapidité avec laquelle s'effectue son développement, il me suffira de dire que sur des ovules n'atteignant pas $0^{mm},1$ en longueur, le nucelle ne présente déjà plus la moindre saillie hors de l'orifice micropylaire. Ainsi s'explique l'erreur des botanistes qui ont cru que cette espèce possédait un ovule nu ; n'ayant pas eu égard à l'*état antérieur*, ils ne purent s'appuyer que sur l'*état actuel* absolument insuffisant à pouvoir leur faire connaître la conformation véritable de cet ovule.

Au point de vue morphologique, ce dernier est déjà bien différent de ce qu'il était dans l'âge précédent : au lieu d'une masse globuleuse et à contours mal définis, il présente maintenant une forme arrêtée, se trouve supporté par un pied presque distinct et revêtu d'un tégument propre dont l'évolution est déjà achevée. Si de l'extérieur on passe à l'intérieur, il est aisé de voir qu'à ces modifications externes correspondent des transformations intimes dont l'examen histologique permet de se rendre aisément compte : la masse utriculaire, si peu compacte, que tous ses

(1) La verticale serait déterminée par une ligne menée du point d'insertion au point directement opposé de la masse ovulaire.

(2) Pl. 1, fig. 3.

(3) Pl. 1, fig. 4, 5.

éléments offraient une section arrondie, a disparu pour faire place à un tissu bien mieux défini : le centre de la masse, le nucelle, pour employer une expression plus générale, est constitué par des cellules polyédriques, à contour parfaitement délimité, à contenu plasmique ; puis, autour de ce nucelle, se voit une zone de petites cellules, dont les plus superficielles sont convexes, zone qui n'est interrompue sur aucun point de la périphérie de l'ovule dont elle suit ainsi tout le contour. Ici encore se révèlent les incomparables avantages de cette méthode mixte poursuivant à la fois l'étude des transformations morphologiques et l'examen des modifications histologiques, méthode qui permet de rapprocher de la forme actuelle qu'on a sous les yeux la constitution intime de l'organe en cours d'observation.

Ainsi que je le faisais remarquer plus haut, l'ovule s'est incurvé, rapprochant de son insertion son ouverture micropylaire ; la masse ovulaire semble avoir glissé d'un côté, et le développement transversal s'est ainsi accentué d'une façon très-notable. En ce moment, où l'ovule répond assez bien au type classique de l'anatropie, des modifications importantes ne vont pas tarder à se montrer.

Sur un point variable, mais généralement excentrique, de la masse nucellaire, on voit une cellule qui prend un accroissement inusité, et arrive, par le progrès de son développement, à former une petite cavité, laquelle, vue par transparence, se montre comme une tache grisâtre, et n'est en réalité autre chose que la première ébauche du sac embryonnaire qui, d'abord ovalaire, ne tarde pas à devenir piriforme ; une portion grêle semble, en effet, soutenir une masse renflée et dirigée vers le funicule, puis la partie allongée et rétrécie du sac disparaît peu à peu, et cette cavité prend la forme d'un ovoïde dont les dimensions deviennent énormes et dont le rapide accroissement détermine peu à peu la disparition du nucelle (1).

Tandis que le sac embryonnaire se formait, on voyait une

(1) Pl. 1, fig. 6, 7.

sorte de gibbosité se dessiner vers la portion supérieure de l'ovule et y présenter bientôt après l'apparence d'un bec (1); une sorte de cordon épais et formé de cellules allongées se constituant peu à peu entre ce bec et le funicule, il en résulte, en dernière analyse, une sorte de côte épaisse terminée supérieurement en bec-de-corbin, si je puis m'exprimer ainsi, et reposant inférieurement sur le funicule : rien de plus intéressant que d'étudier les aspects bizarres que revêtent ces parties à mesure qu'elles se développent et se modifient.

Vers la partie inférieure du sac, on découvre bientôt une petite masse arrondie et celluleuse formée par l'embryon dont la segmentation vient de se produire; cette petite masse présente bientôt une portion inférieure rétrécie et figure ainsi d'une façon grossière un cœur de carte à jouer. En disséquant soigneusement un ovule arrivé à cet âge, on peut en extraire le petit embryon cordiforme que je viens de décrire. On peut aussi, en procédant de la même manière, mettre à nu le sac embryonnaire qui se présente sous la forme d'un gros ovoïde revêtu par le tégument ovulaire qui l'enveloppe exactement. Quant à l'embryon, il continue à s'accroître, mais sans atteindre jamais à de bien grandes dimensions; sa radicule est inférieure, et la scissure qui sépare ses deux cotylédons, peu profonde. Au point de vue topographique, je dois dire que l'embryon ne se trouve que très-rarement au centre de l'albumen, sa position étant généralement inférieure à cette région, par suite de l'élongation du suspenseur.

A ce moment, l'observateur a sous les yeux une masse ovoïde appliquée sur la convexité d'une sorte de support recourbé, support reposant lui-même sur un pédicule large et court. La masse ovoïde est le sac et son enveloppe, le support est cette côte saillante et en forme de raphé sur l'origine de laquelle je n'ai plus à revenir; quant à sa base, elle est constituée par le funicule, qui seul n'a guère changé au milieu de cette série de modifications si remarquables. Il est, je crois, inutile d'insister sur la

(1) Pl. 1, fig. 8.

différence d'aspect que présente l'ovule selon qu'on l'examine par l'une ou l'autre de ses faces, l'espèce de raphé formé par l'arête saillante ne se montrant que lorsqu'on regarde l'ovule par sa face concave.

III. — La forme ovoïde du sac et de son enveloppe se modifie considérablement : la face convexe de l'ovule s'aplatit d'une façon notable, ses bords s'incurvent, des stries apparaissent à la surface et s'y changent bientôt en sillons. Ces stries, ces sillons augmentent en nombre et en profondeur, la face libre de la masse ovulaire se chagrine de plus en plus : la graine est constituée. Si l'on fait alors une section transversale à travers sa masse, on y trouve un albumen copieux et formé par la segmentation du contenu du sac qui a progressivement formé cette masse de cellules polyédriques, à parois peu épaisses, à contenu granuleux ; dans cette masse se trouve enfermé l'embryon, dont le tissu est formé par des utricules plus petites et plus délicates que celles de l'endosperme ambiant ; l'ensemble de la graine est limité par une assise de cellules plus ou moins papilleuses qui forment le test même de la graine.

Sur la coupe longitudinale de celle-ci, on retrouve le tégument séminal, l'endosperme et l'embryon, dont on peut alors apprécier les dimensions et la direction : l'embryon est petit, excentrique, et présente sa radicule tournée vers le micropyle.

IV. — Je ne me suis étendu aussi longuement sur l'histoire de l'ovule et de la graine du *Veronica Buxbaumii* qu'en raison des modifications curieuses qui se trouvent révélées par cette étude : de bonne heure la portion basilaire de l'ovule prend la forme d'un funicule, et c'est aussi de fort bonne heure que le tégument ovulaire apparaît, se constitue, et vient recouvrir le mamelon nucellaire qui s'est incurvé en même temps. Sans quitter encore cette étude des transformations morphologiques, il faut noter l'apparition et l'accroissement de cette gibbosité, qui, se reliant au funicule, contribue si puissamment à donner à l'ovule et à la graine leur bizarre aspect. Le *Veronica arvensis* nous présentera

une production assez semblable et dont l'origine est la même. M. Tulasne la décrit comme « un raphé ou faisceau de cellules allongées » ; je crois ce dernier terme préférable, en raison même des réserves qu'il implique : le fait est que jamais un cordon vasculaire n'apparaît dans un point quelconque de l'ovule ou de la graine.

L'étude attentive de l'évolution du sac embryonnaire révèle les particularités curieuses de sa configuration, et peut seule permettre d'arriver à connaître l'origine et la nature de l'albumen et du tégument séminal, le premier formé au sein du sac embryonnaire, le second constitué par le tégument ovulaire dont les éléments se sont tuméfiés et sont devenus plus ou moins papilleux. Il n'y a pas ici hernie véritable du sac embryonnaire, mais bien refoulement du nucelle et disparition progressive de sa masse, devant les progrès du sac qui, comme le montre une de mes figures, finit par constituer tout l'ovule, abstraction faite de la mince tunique tégumentaire qui le recouvre.

Cette même étude ainsi poursuivie aux divers âges de l'ovule et de la graine, permet encore de se rendre bien compte des sillons et des stries qui se voient à la surface de celle-ci ; ces marques extérieures n'apparaissent que tardivement et se constituent d'une façon bien plus simples que certaines productions spermodermiques dont plusieurs Scrofularinées nous offrent des exemples. J'aurai, en effet, l'occasion de signaler chez l'*Antirrhinum majus*, le *Digitalis purpurea*, etc., diverses modifications du test, modifications qui, pour se produire, exigent le plus souvent des changements histologiques considérables dans les cellules du tégument.

VERONICA HEDERÆFOLIA.

(Pl. 2.)

Il est bien peu de plantes dans lesquelles l'étude organogénique de l'ovule ait été aussi minutieusement et aussi fréquemment étudiée que chez le *Veronica hederæfolia*. Des savants éminents s'en sont successivement occupés, et si leurs conclusions

n'ont pas toujours été absolument concordantes, elles nous ont du moins fait connaître cette espèce comme l'une des plus curieuses que l'on puisse trouver sous le rapport des modifications que présentent successivement l'ovule et la graine (1).

C'est ici surtout qu'il convient d'examiner soigneusement les ovules pris à leur premier âge : le tégument grandit en effet avec une rapidité telle, que lorsque l'ovaire est encore à peine formé, on y trouve des ovules anatropes et sans trace de canal micropylaire; aussi serait-on tenté, à ce moment, de regarder ces ovules comme parfaitement nus, ce qui est en désaccord avec les observations faites aux premières périodes du développement.

I. — L'ovaire se présente d'abord sous la forme d'un bourrelet notablement conoïde, et dont le sommet se creuse bientôt d'un sillon transversal; il en résulte la formation de deux lèvres apicilaires opposées l'une à l'autre. D'abord peu distinct de la masse ovarienne, ce sommet s'allonge bientôt en prenant l'apparence d'un cylindre, puis sa base se rétrécit, et finalement on voit l'ovaire supporter une petite colonne dont le sommet présente toujours la même bifidité qui vient d'être signalée (2).

La masse inférieure ou basilaire, s'arrondissant de plus en plus, a pris bientôt la forme d'un dôme sur les flancs duquel se sont dessinées des stries verticales qui, se changeant en sillons, indiquent extérieurement les loges de l'ovaire, et donnent à cet

(1) Duvau, *Considérations sur le genre* Veronica, *etc.* (*Ann. sc. nat.*, 1re série, 1826, t. VIII, p. 167, pl. 26, etc.).

Auguste de Saint-Hilaire, *Leçons de botanique comprenant principalement la morphologie végétale*. Paris, 1841, p. 731.

Nees, *Genera plantarum fl. German.*, fasc. XVI (1837), n° 17, fig. 18-24.

Schleiden, in *Nov. Act. nat. cur.*, 1839, t. XIX, p. 1, p. 57, tab. VIII, fig. 139-140.

J. E. Planchon, *Mémoire sur les développements et les caractères des vrais et des faux arilles, suivi de Considérations sur les ovules de quelques Véroniques et de l'*Avicennia. Montpellier, 1844.

L. R. Tulasne, *Études d'embryogénie végétale* (*Ann. sc. nat.*, BOTANIQUE, 3e série, 1849, t. XI, p. 27, pl. 3, fig. 30-35).

(2) Pl. 3, fig. 1, 3, 7.

organe l'apparence sous laquelle on le connaît le plus souvent ; la colonne stylaire s'est d'ailleurs allongée et un stigmate papilleux couronne son faîte.

Le disque hypogyne suit son évolution normale, ne présentant rien de particulièrement notable, soit dans les modifications de sa forme, soit dans les changements de sa structure intime.

II. — **Quant à l'ovule, qui doit m'occuper d'une façon toute spéciale, il apparaît, à la surface du placenta, comme un petit mamelon dont le diamètre ne dépasse pas $0^{mm},03$, et dont la structure intime présente une extrême simplicité, l'examen histologique montrant ce petit corps comme formé d'un tissu cellulaire homogène et à éléments semblables entre eux, sphéroïdaux et non encore polyédriques; les cellules de la périphérie ne diffèrent pas d'ailleurs à ce moment des utricules situées au centre de la masse.**

Ce mamelon grandit et forme bientôt une sorte de petit cylindre obtus (1), qui est l'ébauche du nucelle ; puis un bourrelet se dessine vers son tiers inférieur, tandis que le sommet se recourbe déjà sensiblement; le bourrelet se développant vers cette extrémité libre constitue ainsi le tégument ovulaire, et l'ovule se présente dès lors sous l'aspect d'un ovule anatrope recouvert d'un seul tégument (2). Je ne saurais trop insister sur la rapidité avec laquelle s'opèrent l'incurvation de l'ovule et le développement du bourrelet tégumentaire (3) : sur un ovule long de $0^{mm},056$, le nucelle présente, hors du micropyle, une saillie qui est généralement inférieure à 0,02. Cette saillie disparaît même bientôt de la façon la plus complète, les lèvres de l'orifice micropylaire se rapprochent, et l'observateur qui ne considérerait pas l'âge antérieur penserait aisément que le nucelle n'est recouvert d'aucune enveloppe. Au point de vue histologique, on constate, à l'époque que je considère en ce moment, une modification digne de remarque : l'ovule est toujours une masse cellulaire

(1) Pl. 2, fig. 1.
(2) Pl. 2, fig. 2.
(3) Pl. 2, fig. 3, 4, 5.

homogène dans son ensemble, mais présentant certaines différences dans les éléments qui constituent ses diverses parties ; les utricules du centre ne sont plus arrondies ou sphéroïdales, elles sont polyédriques; quant à celles de la périphérie, elles sont sensiblement quadrangulaires.

Les choses demeurent peu dans cet état : vers le moment où l'ovule a achevé de s'incurver et de fermer son ouverture micropylaire, parfois même plus tôt, on remarque qu'une vésicule, située dans la région moyenne du nucelle, prend un accroissement rapide, constituant ainsi une sorte de cavité (1) d'abord ovoïde qui marque le premier état du sac embryonnaire; celui-ci revêt ensuite une forme plus ou moins elliptique, et c'est vers sa portion micropylaire qu'apparaît l'embryon, à la suite des phénomènes qui constituent l'acte de la fécondation et sur lesquels je n'ai pas à insister ici (2). En ce moment, le sac n'a pas encore atteint tout son développement, il est pourtant déjà très-grand et rempli d'une matière plasmique coagulable par l'acide acétique.

Devant les progrès du sac embryonnaire, le tissu du nucelle se résorbe peu à peu, et l'on n'a bientôt plus qu'une enveloppe considérée à tort par M. Schleiden comme représentant le nucelle, tandis qu'au contraire elle doit être regardée comme formée par le tégument ovulaire proprement dit. Toutes les observations que j'ai pu faire m'ont conduit à cette conclusion que, M. Tulasne a d'ailleurs formulée le premier (3).

J'abandonne momentanément l'examen des phénomènes qui se passent dans l'intérieur de l'ovule à la suite de l'imprégnation, pour dire quelques mots d'une production singulière dont la surface externe de ce corps se complique vers le moment même où le sac se constitue : la portion basilaire ou funiculaire de l'ovule s'est renflée de façon à représenter une sorte d'opercule (4) assez semblable à ceux qui existent dans certaines

(1) Pl. 2, fig. 7.
(2) Pl. 2, fig. 9.
(3) Tulasne, *loc. cit.*, p. 34.
(4) Pl. 3, fig. 7.

Euphorbiacées, et qui ont été décrits par M. Baillon (1), puis, sur le bord libre de ce renflement, apparaissent des papilles formées de cellules allongées et constituant une sorte de tissu spongieux qui s'étend ainsi peu à peu sur une assez grande partie de la surface de l'ovule (2). M. J. E. Planchon, qui a soigneusement étudié cette production, la désigne sous le nom de « corps mousseux », et je crois devoir garder cette expression, qui a le mérite de donner une idée exacte de l'aspect extérieur de ce semblant d'arille que l'on ne saurait pourtant regarder comme tel, puisque, selon la très-juste observation du savant que je viens de citer, cette production diminue à mesure que l'ovule s'achemine vers sa fin dernière et revêt peu à peu les caractères de la graine; aussi n'en trouve-t-on plus de traces visibles que dans la région funiculaire, lorsque l'embryon a achevé son évolution normale (3).

La petite masse cellulaire dont je signalais tout à l'heure l'apparition dans la région micropylaire de l'ovule, et qui était formée par l'embryon segmenté, s'est en effet modifiée rapidement : sa portion voisine du sommet de l'ovule (4) s'est allongée et a pris la forme d'un cylindroïde, c'est la radicule, la partie inférieure s'aplatissant de son côté, à mesure que les cotylédons qui la forment grandissent : l'embryon s'est ainsi constitué (5), tandis que le contenu du sac s'organise en larges cellules polygonales, à parois peu épaisses et à contenu granuleux, cellules qui représentent la masse albumineuse (6). L'ovule, ainsi arrivé à son état parfait, mérite désormais le nom de graine; il me reste à étudier celle-ci.

III. — A la suite de la disparition progressive du tissu mousseux, la graine du *Veronica hederæfolia* se montre comme un

(1) H. Baillon, *Étude générale du groupe des Euphorbiacées*, pl. 10.

(2) Pl. 2, fig. 10.

(3) Pl. 2, fig. 14.

(4) A l'exemple d'un très-grand nombre de botanistes, je décris ici, comme sommet du sac embryonnaire, son extrémité micropylaire.

(5) Pl. 2, fig. 13, 15.

(6) Pl. 2, fig. 12.

corps régulièrement incurvé des deux côtés du funicule et divisé en deux parties sensiblement égales par une ligne menée par son centre et son point d'insertion ; il en résulte pour elle une apparence campylotrope. La surface de cette semence est rugueuse et présente des cannelures ou des sillons assez profondément marqués. Sur la coupe, on remarque que l'embryon, entouré par l'albumen, n'occupe pas le centre de celui-ci ; il est au contraire fortement excentrique et rejeté vers l'une des extrémités de l'ovule ; sa forme est plus ou moins linéaire, et il ne présente qu'une scissure intercotylédonaire médiocrement marquée : cet embryon affecte d'ailleurs une direction généralement curviligne, de façon à se maintenir parallèle au bord de la graine (1).

Au point de vue de sa structure intime, cette graine se compose de dehors en dedans : 1° d'une assise de cellules carrées, à parois épaisses, à face externe convexe et constituant une sorte de pellicule à contours sinueux, assise formée aux dépens du tégument ovulaire transformé en test séminal ; 2° de l'albumen, formé de grandes cellules polyédriques, à contenu granuleux et de nature huileuse (2) ; 3° de l'embryon, enchâssé dans la masse de l'albumen, présentant une coupe transversale elliptique et des éléments cellulaires bien plus petits que ceux dont l'ensemble constitue le parenchyme de l'albumen. La teinture d'iode ou l'eau iodée colorent uniformément en jaune brun toute la graine, albumen et embryon.

En résumé, la graine du *Veronica hederæfolia* diffère surtout de celle des espèces voisines par le développement de cette curieuse production qui grandit avec l'ovule, pour disparaître ensuite à mesure que la graine proprement dite se constitue. Quant au tégument ovulaire, je crois en avoir assez dit pour ne pas laisser de doute sur son existence ; il suffit d'observer des ovules très-jeunes pour constater sa formation et le suivre dans

(1) Pl. 2, fig. 13, 15.

(2) Dans le jeune âge de la graine, peu après l'organisation du contenu du sac, l'iode décelait dans cette masse une grande abondance de matière amylacée qui a disparu à mesure que la graine s'avançait vers sa maturation.

les diverses phases de son développement. Le sac embryonnaire, de forme souvent bizarre, ne présente d'ailleurs, dans ses dispositions générales, que des caractères fort semblables à ceux que l'on trouve dans les plantes voisines; l'embryon s'y développe aussi d'une manière parfaitement normale, et c'est dans le sac embryonnaire que s'organise et s'accroît l'albumen, d'abord féculent, puis charnu, particularité bien intéressante, si on la rapproche des observations de M. Brongniart sur l'albumen des Monocotylédones.

Le test de la graine, formé aux dépens du tégument séminal, se montre comme une membrane continue que l'action de l'acide acétique et de la chaleur permet de séparer de l'albumen ; elle est formée de deux couches : l'interne assez semblable aux cellules épidermiques, comme M. Tulasne l'a remarqué pour le *V. triphyllos*, l'externe n'offrant pas trace d'organisation cellulaire et n'étant autre qu'une cuticule.

VERONICA ARVENSIS.

(Pl. 3.)

En fendant l'ovaire d'un très-jeune bouton, on trouve l'ovule sous la forme d'une sphérule verdâtre, très-peu saillante à la surface du placenta, et purement formée de tissu utriculaire. Le tégument se montre de bonne heure, recouvre rapidement le nucelle et le dépasse à mesure que la totalité de l'ovule s'incurve plus nettement. Ce dernier mouvement a pour résultat direct de porter le micropyle dans le voisinage du point d'insertion (1); mais comme la masse ovulaire se trouve en ce moment répartie d'une façon égale des deux côtés d'une ligne menée par ce point, il en résulte, pour l'ovule du *Veronica arvensis*, une forme très-simple, très-régulière, et qui aura la plus grande influence sur l'apparence extérieure de la graine mûre.

Le sac se montre de bonne heure sous la forme d'une ellipse assez régulière, au moins dans ce premier âge, car sa

(1) Pl. 5, fig. 1.

portion micropylaire s'allongeant bientôt avec rapidité, il en résulte une apparence piriforme qui persiste assez longtemps (1); parfois la portion opposée s'accroît encore davantage en largeur au point de devenir globuleuse, de sorte que le sac ressemble alors assez bien à un ballon à long col : mais ces aspects bizarres durent peu et le sac prend enfin la forme ovalaire. Le nucelle a progressivement disparu devant les progrès de ce dernier, qui arrive ainsi dans le voisinage du tégument.

La fécondation s'opère et l'on voit bientôt, vers le tiers inférieur du sac, une petite masse utriculaire qui n'est autre chose que l'embryon ayant déjà subi la segmentation ; cette petite sphérule, s'allongeant légèrement par sa région inférieure, se transforme ainsi en une sorte de cœur; puis, cette région s'accroissant de plus en plus, on voit se constituer la radicule, qui se dirige vers le micropyle, tandis que dans la masse supérieure les deux mamelons cotylédonaires accentuent davantage leur forme et leurs proportions : cet organe n'atteint pas d'ailleurs de bien grandes dimensions, et jamais l'embryon du *Veronica arvensis* ne présente un volume important.

Autour de cette plantule, le contenu du sac embryonnaire se segmente et s'organise pour former l'albumen, et constituer ainsi la partie principale (quant au volume) de la graine; mais, avant d'arriver à l'étude de celle-ci, je crois devoir résumer les diverses modifications morphologiques qui font varier la forme et l'apparence extérieure de l'ovule et, par suite, de la graine qui en résulte.

J'ai dit plus haut que, lors du rapprochement des lèvres du micropyle parvenu dans le voisinage du point d'insertion, l'ovule offrait une forme très-régulière, et ressemblait alors assez bien à une sorte de battoir : mais, dès que le sac se montre à l'intérieur du nucelle, on voit l'extrémité de l'ovule opposée au hile se renfler et se dévier sur le flanc (2) ; cette saillie s'accentuant de plus en

(1) Pl. 5, fig. 4, 6.

(2) Ce bec apparait sur la face dorsale de l'ovule, c'est-à-dire sur celle qui ne porte pas, vers son extrémité inférieure, l'ouverture micropylaire (pl. 5, fig. 2 *a*).

plus, il se forme bientôt, en ce point, une gibbosité qui s'incurve même de façon à prendre l'aspect d'un petit bec dont le volume augmente tant que le sac continue à se développer (1). Mais, vers le moment où celui-ci a acquis ses dimensions définitives, la saillie formée par le bec cesse d'augmenter et devient même de moins en moins proéminente; la côte dorsale de l'ovule s'épaissit alors très-notablement dans sa région inférieure, de telle façon que la gibbosité première se trouve en continuité avec cette boursouflure, sur la continuité de laquelle elle se trouve et avec laquelle elle se fond ainsi insensiblement.

Par le développement du sac, la constitution de l'embryon et la formation de l'albumen, l'ovule a pris intérieurement tous les caractères de la graine, dont il me reste, en conséquence, à examiner la structure et la configuration.

A ce dernier point de vue, la graine du *Veronica arvensis* est très-remarquable par sa forme et son relief général : cette semence est rectiligne et plate, si ce n'est toutefois vers sa face dorsale, où se trouve l'épaississement dont je viens de faire connaître la nature et la formation (2). Par sa situation et son apparence extérieure, il pourrait être désigné comme un raphé, mais l'absence de tout élément vasculaire et son apparition tardive ne permettent de lui donner ce nom qu'avec une certaine réserve.

Sur son autre face, la graine est plate et présente simplement quelques stries peu marquées, divergeant du centre vers les bords et disparaissant même avant d'avoir atteint ceux-ci. La coupe longitudinale de la graine montre un albumen copieux entourant un petit embryon dont la scissure intercotylédonaire (3) est peu profonde et dont la radicule, assez volumineuse, se trouve tournée vers le micropyle. Cet embryon est le plus souvent excentrique par rapport à la masse de la graine, et situé dans cette portion élargie sur laquelle se voit au

(1) Pl. 3, fig. 3, 4, 5, 6.
(2) Pl. 3, fig. 9, 12, 14.
(3) Pl. 3, fig. 17 *c*.

dehors le renflement celluleux dont il vient d'être longuement question.

Examinée sur sa coupe transversale, la graine offre une assise de cellules carrées et à parois assez épaisses qui l'entourent et forment son test : ce sont les cellules internes du tégument ovulaire simplement modifiées pour cette nouvelle fonction. En dedans de cette assise, on rencontre la masse de l'albumen avec ses utricules larges, polyédriques et à parois peu épaisses ; enfin, environné par cette masse, se trouve l'embryon dont les cellules sont plus étroites et plus délicates que celles de l'albumen.

M. Tulasne avait déjà et fort justement remarqué la forme aplatie que revêt la graine du *Veronica arvensis* (1), forme tellement régulière dans sa configuration générale, qu'un observateur l'examinant seulement au terme de son évolution, et ignorant les phases diverses de son développement, croirait avoir sous les yeux une graine dérivée du type orthotrope. Une étude organogénique attentive montre qu'il n'en est cependant rien : l'ovule a accompli son incurvation habituelle et a porté son micropyle dans le voisinage de son point d'insertion ; mais, à une époque plus avancée, lorsque le contenu du sac s'est organisé de façon à constituer l'albumen, on a pu constater que le développement de la masse endospermique s'effectuait parallèlement au raphé ou plutôt parallèlement au faisceau de cellules allongées qui se trouve sur le prolongement du funicule. Cette exagération de l'accroissement de l'albumen selon un des diamètres de la graine a eu pour conséquence naturelle la forme elliptique sous laquelle se présente, à l'état adulte, la graine du *Veronica arvensis*. Dans quelques espèces de ce genre, j'aurai l'occasion de signaler, d'ailleurs, des faits analogues aboutissant à une semblable conformation de la graine.

(1) Tulasne, *loc. cit.*, p. 36.

VERONICA SCUTELLATA.

(Pl. 3.)

La genèse de l'ovule suit les mêmes phases que dans les espèces précédentes : le sac embryonnaire apparaît généralement dans la portion supérieure du nucelle, puis, s'accroissant rapidement, refoule le tissu de ce dernier.

L'imprégnation ayant eu lieu, on voit se former la petite masse celluleuse qui représente l'embryon segmenté, et qui, s'allongeant vers le micropyle, montre sa radicule dirigée vers cette ouverture. L'embryon prend ainsi l'apparence d'un petit corps allongé et aplati, médiocrement échancré par la scissure intercotylédonaire. Jamais il n'atteint des dimensions bien considérables, et se trouve logé près du centre de l'albumen ou en un point plus rapproché du funicule.

Vers l'époque de l'apparition du sac embryonnaire, on voit l'ovule du *V. scutellata* prendre extérieurement des formes bizarres et assez comparables à celles que présentent quelques-unes des espèces précédentes (*V. Buxbaumii*, *V. arvensis*, etc.) (1). Mais ces irrégularités disparaissent à mesure que l'ovule avance vers son état parfait, et la graine offre une forme parfaitement symétrique : elle est aplatie ou discoïdale, reposant sur un funicule qui se trouve dans la continuité de son axe, et recouverte d'un test médiocrement résistant. Sur la coupe, on trouve, en dedans de cette enveloppe, la masse de l'albumen avec ses utricules polyédriques et peu épaisses, dont le contenu granuleux ne bleuit plus au contact de l'iode ; puis, enchâssé dans cet albumen, le petit embryon avec ses cellules plus petites, faiblement polyédriques, plus voisines du type sphéroïdal, et présentant, ainsi que je l'ai dit plus haut, une scissure intercotylédonaire beaucoup moins profonde que dans la plupart des Véroniques étudiées jusqu'ici.

(1) Pl. 2, fig. 21, 22.

VERONICA ACINIFOLIA.

L'ovaire n'offre, dans cette espèce, aucune particularité notable, soit qu'on suive les progrès de son évolution, soit qu'on examine les détails de sa structure. L'ovule s'y montre, comme toujours, sous la forme d'un petit mamelon faiblement proéminent à la surface du placenta et de structure purement celluleuse. Le tégument apparaît de bonne heure et l'ovule se recourbe rapidement vers son funicule.

Quant au sac embryonnaire, c'est constamment dans un point très-voisin du centre qu'il se constitue; il conserve, durant quelque temps, la forme ovalaire, puis s'allonge de façon à devenir plus ou moins elliptique; l'embryon s'y développe, comme chez les autres plantes déjà décrites, dans la région micropylaire, et se trouve entouré par l'albumen charnu formé par l'organisation du liquide plasmique que renferme le sac.

La structure de la graine n'est pas différente de celle des espèces voisines (1). On remarque qu'elle affecte une forme assez semblable à celle du *V. scutellata*, mais son centre est généralement assez déprimé, et ce caractère, s'accentuant dans des proportions notables, suffit pour donner à cette semence un aspect spécial.

VERONICA OFFICINALIS.

(Pl. 2.)

Lorsqu'on ouvre l'ovaire d'une fleur non encore épanouie, on n'y trouve déjà plus que des ovules absolument recourbés et enveloppés par leur tégument, mais, en s'adressant à de très-jeunes boutons, on voit l'ovule naissant sous la forme

(1) Le test est formé d'une assise de cellules épaisses, quadrangulaires, et plus ou moins convexes vers leur face externe; la masse de l'albumen est constituée par des utricules à section polygonale, à parois de peu d'épaisseur (si on les compare aux éléments précédents) et à contenu granuleux. Le tissu de l'embryon présente les caractères indiqués déjà plusieurs fois.

d'un mamelon globuleux et se recourbant vers son point d'insertion de façon à prendre la forme que j'indiquais en commençant cette description.

Le sac apparaît rarement, très-rarement même dans le centre du nucelle ; c'est plutôt vers la région supérieure de celui-ci qu'on voit grandir la vésicule qui en est la première ébauche. D'abord ovalaire, le sac embryonnaire prend bientôt la forme d'un sphéroïde s'allongeant en pointe à ses deux pôles (1) ; il refoule en même temps le tissu du nucelle, et l'on peut, par une dissection minutieuse, extraire ce sac de la masse ovulaire : on constate alors qu'il est formé par une membrane parfaitement transparente dans laquelle se trouve un liquide incolore, tenant en suspension de très-fines granulations et coagulable par les acides végétaux et minéraux.

A la suite de l'imprégnation, l'embryon se développe dans la portion du sac voisine du micropyle et tourne sa radicule vers cet orifice. En même temps le liquide du sac s'organise en larges cellules qui, par leur segmentation successive, forment progressivement la masse de l'albumen, et la graine se constitue ainsi peu à peu avec les mêmes caractères généraux que dans les espèces voisines ; l'iode colore en brun le contenu de ses cellules, et l'on remarque que si l'ovule offrait parfois diverses irrégularités, la graine est plate et plus ou moins elliptique, mais toujours de forme parfaitement symétrique.

VERONICA BECCABUNGA.

Le développement de l'ovule et de la graine offrant les mêmes phases que dans les autres Véroniques, je ne les décrirai point pour ne pas retomber dans de continuelles répétitions, et me bornerai à indiquer cette espèce comme devant être comptée parmi celles où l'apparition et l'accroissement de l'enveloppe ovulaire s'effectuent avec une telle rapidité, qu'on serait tenté

(1) Cette bizarre conformation n'est d'ailleurs pas constante, et de nombreuses observations m'ont montré que le sac embryonnaire passait souvent du type ovalaire au type simplement piriforme.

de croire à un ovule nu, lorsqu'on n'a pas soin de remonter aux premières époques de l'évolution de ce corps.

VERONICA AGRESTIS.

(Pl. 2.)

Cette espèce se rattache intimement au *V. hederæfolia* par les bizarres formes que revêt son sac embryonnaire, ainsi que par l'apparence campylotropoïde de ses graines.

Le placenta porte un nombre indéfini d'ovules qui passent de bonne heure par la forme anatrope, ainsi que l'avait remarqué M. Planchon (1). Quant au sac, il se montre d'abord comme une sorte de sphéroïde situé, le plus souvent, dans la région micropylaire; de cette vésicule procède bientôt une sorte de col allongé qui donne alors au sac l'aspect d'un matras; puis cette partie effilée se renflant à son tour, le sac prend l'apparence la plus singulière que l'on puisse imaginer; par suite de ce développement, le sac refoule peu à peu le nucelle, qui se résorbe.

La graine subit à peu près les mêmes transformations que dans le *V. hederæfolia*, et présente également, à sa surface, des stries assez profondes. Son apparence est fort semblable dans les deux espèces, et le tégument ovulaire formé seul ici encore le tégument séminal; l'endosperme charnu et abondant, développé dans le sac, se colore en jaune par l'action de l'iode. Les détails histologiques de la graine ne présentent d'ailleurs rien de remarquable, qu'on examine le test, l'albumen ou l'embryon.

VERONICA CHAMÆDRYS.

(Pl. 2.)

L'ovaire ne présente, dans son développement ou sa conformation, aucune disposition particulière; je me borne donc à signaler le volume assez considérable du disque.

(1) J. E. Planchon, *loc. cit.*, p. 42.

Quant à l'ovule, c'est toujours sous la forme d'un mamelon subglobuleux, cellulaire et homogène, qu'il apparaît ; il se recouvre rapidement de son enveloppe et s'incurve si promptement que, bien avant la floraison, on n'a plus sous les yeux que des ovules anatropes et à micropyle fermé. J'emploie ici, sans aucune réserve, la qualification d'anatrope, l'ovule du *V. Chamædrys* offrant un raphé très-distinct, particularité bien rare dans ce genre. Ce raphé est d'ailleurs entièrement celluleux : sur la côte dorsale de l'ovule, on voit en effet une traînée de cellules quadrangulaires et allongées parallèlement au grand axe de l'ovule, cellules qui, par leur réunion et leur direction, forment une sorte de cordon s'étendant de l'attache du funicule ou de la base de l'ovule, jusque vers la région moyenne de celui-ci.

Le sac présente des formes variables, étant tantôt ovale, tantôt contourné sur lui-même.

Dans une heureuse observation, j'ai pu voir un boyau pollinique atteindre le canal micropylaire.

L'embryon se développe normalement dans le sac, dont le contenu s'organise pour constituer un albumen charnu formé de cellules polyédriques, larges, à parois peu épaisses et à contenu granuleux que les liquides iodés colorent en jaune brun.

ANTIRRHINUM MAJUS.

(Pl. 3.)

Lorsque, dans un jeune bouton, on examine les différents verticilles, il est aisé de voir, vers le centre, une saillie dont le sommet tronqué présente un aspect hypocratériforme (1). Tel est le premier rudiment de l'ovaire, ou plutôt tel est l'ovaire en ce moment, car, à un âge encore plus jeune, le mamelon était globuleux et ne présentait aucune dépression extérieure.

La cupule qui occupe ainsi le sommet du jeune ovaire présente d'abord une parfaite égalité de niveau, quel que soit celui de ses diamètres qu'on examine ; mais cet état dure peu, et bien-

(1) Pl. 3, fig. 12.

tôt, en effet, les bords se relèvent à partir de la ligne médiane, qui ne varie pas et ne présente jamais aucun gonflement ni aucune hernie ; les bords continuent ainsi à grandir progressivement, sans qu'on puisse constater aucune différence entre les deux parties symétriques de l'ovaire. Cependant, à un âge plus avancé, on remarque que les deux bourrelets ainsi formés gagnent plus en hauteur qu'en largeur, de sorte que l'ovaire finit par être surmonté d'une sorte de cône dont le sommet est profondément bifide (1). Cette division est le premier indice du double stigmate et suivra les diverses phases du développement ovarien. Le stigmate précède donc le style, et l'on sait d'ailleurs qu'il en est ainsi dans la généralité des Phanérogames.

A une époque peu éloignée de la précédente, le pistil offre l'apparence d'une clochette reposant sur une base légèrement festonnée, et terminée par un sommet obtus dans lequel une échancrure profonde a marqué deux lèvres nettement séparées.

Cet ensemble continuant à se développer, la forme primitive de l'ovaire, forme aussi lourde que grossière, se modifie peu à peu : la campanile gagne sensiblement en hauteur et son sommet n'est plus conformé en museau de tanche comme précédemment ; sa bifidité s'accuse profondément, et sa partie inférieure, se rétrécissant et s'allongeant tout à la fois, constitue ainsi une petite colonne stylaire qui supporte déjà cette ébauche du stigmate.

Le gynécée parvient enfin à sa forme définitive : l'ovaire est extérieurement représenté par une élégante pyramide à contours arrondis, les festons basilaires sont nettement dessinés, le style est devenu grêle et élancé ; quant au stigmate, profondément bifurqué, il n'a plus que des proportions en rapport avec son rôle physiologique.

Le réceptacle se gonfle bientôt, puis s'accroît rapidement, de façon à former le disque, large base sur laquelle repose cet ovaire que je viens de suivre dans les diverses phases de son développement. Je ne saurais pourtant terminer cette rapide esquisse

(1) Pl. 3, fig. 14.

organogénique du pistil sans dire un mot des poils nombreux qui, chez l'*Antirrhinum*, se voient à la surface de l'ovaire. Leur genèse n'offre rien de particulier; ils prennent peu à peu l'aspect sous lequel je les ai représentés. Ce sont de petites colonnes formées par la superposition de plusieurs cellules allongées (3-6); le poil se termine par une tête sphérique supportée par un col fort grêle : cette cellule terminale renferme une matière granuleuse qui remplit presque entièrement sa cavité intérieure.

II. — Les parois de l'ovaire sont épaisses, les placentas régulièrement développés; c'est alors que se montrent, à leur surface, les petites proéminences obtuses et globuleuses qui sont les premiers rudiments des ovules (1). En suivant, dans l'une de ces sphérules verdâtres, les progrès de son développement, on constate tout d'abord une élongation sensible de sa masse, puis, vers sa portion inférieure, apparaît une sorte de bourrelet qui, s'accroissant vers l'extrémité libre du nucelle, l'embrasse dans une sorte de gaîne (2). On connaît dès lors les deux premières périodes de la vie de l'ovule, périodes aussi différentes au point de vue anatomique qu'au point de vue morphologique : lorsqu'on examine la structure du globule primitif, on constate qu'il est uniquement formé de tissu cellulaire dont les éléments ont une section plus ou moins circulaire, mais non polygonale; les utricules de la périphérie ne diffèrent pas d'ailleurs encore de celles du centre. Dans le second état, au contraire, la masse est formée de cellules à section polygonale et se trouve limitée par des utricules tabulaires ou déprimées, dont les plus extérieures sont convexes et qui appartiennent au tégument ovulaire, à ce tégument qui bientôt recouvrira complétement le nucelle et assurera seul la formation de l'enveloppe séminale.

Le bourrelet tégumentaire, d'abord simple cupule, gagnant toujours en étendue par son bord libre, recouvre progressivement le mamelon nucellaire dont les dimensions croissent également

(1) Pl. 3, fig. 16.
(2) Pl. 3, fig. 18.

durant ce temps. Bientôt aussi l'ovule se recourbe par son extrémité opposée au point d'attache ; le tégument le suit dans ce mouvement d'incurvation (1), et l'on observe même, après un court espace de temps, que l'enveloppe s'accroît plus rapidement que le nucelle, de telle sorte que le micropyle, encore assez large, tend à se rapprocher du funicule (2). A ce moment, la forme anatrope se dessine donc avec la plus grande netteté et se montre définitivement arrêtée lorsque l'ouverture micropylaire se trouve amenée dans le voisinage du point d'insertion et présente ses bords resserrés, de façon à ne pas laisser voir la plus petite saillie nucellaire.

Jusqu'à ce moment, la structure de l'ovule était extrêmement simple, puisqu'il était formé par une agrégation de cellules dont les intérieures étaient polyédriques, tandis que les utricules périphériques présentaient une forme sensiblement déprimée. Cet état cesse vers l'époque où nous examinons actuellement l'ovule, et l'on observe alors qu'une cellule située vers son centre ou plus souvent sa région supérieure, s'accroît d'une façon inusitée et ne tarde pas à constituer, par les progrès de son développement, une cavité en forme de matras ou de cornue, laquelle n'est autre que le sac embryonnaire (3). C'est dans ce sac que s'opère la fécondation, phénomène dont je n'ai pas à faire connaître ici les diverses phases, et qui détermine naturellement l'apparition de l'embryon. Celui-ci se développe normalement dans l'intérieur du sac dont le contenu, d'abord plasmique, ne tarde pas de s'organiser en cellules qui, par une segmentation successive, formeront en dernière analyse l'albumen. Les progrès du sac et de son contenu déterminent le refoulement et la disparition progressive du nucelle. L'ovule se trouve alors limité par deux ou trois assises de cellules à peu près rectangulaires, à l'extérieur desquelles se voient, en certains points, des groupes de cellules allongées, fibroïdes, se relevant à angle droit, et constituant ainsi à l'ovule une ceinture bizarrement formée de

(1) Pl. 3, fig. 18, 19.
(2) Pl. 3, fig. 20.
(3) Pl. 3, fig. 21.

productions grossièrement comparables à des tuyaux d'orgue ou aux prismes de l'émail dentaire.

Ces cellules spéciales s'incrustent de ligneux et prennent une coloration brunâtre qui s'accuse progressivement ; dès lors, à mesure que l'ovule avance vers le terme de son évolution, on y constate plus nettement l'existence d'une double zone limitante : la couche interne est blanchâtre et formée généralement par des cellules tabuliformes, tandis que la zone externe se compose d'éléments fortement teintés de brun, relevés et groupés en nombre variable sur certains points de la périphérie de la graine. Ces sortes de boursouflures, d'abord mal définies, augmentent rapidement de volume, leurs utricules constituantes deviennent plus nettement fibreuses, des réticulations apparaissent dans leurs parois, et la graine revêt ainsi peu à peu tous ses caractères définitifs.

III. — L'embryon vient en effet d'acquérir tout son développement, il occupe à peu près le centre de la graine et se trouve entouré par l'albumen abondant et charnu. Quiconque a examiné les semences de l'*Antirrhinum* connaît l'aspect bizarre de ces petits corps dont la forme est pyramidale et dont la surface est relevée de nombreuses côtes saillantes limitant des sortes d'îlots déprimés et à contours sinueux (1).

Au premier abord, on serait tenté d'expliquer cette apparence par quelque phénomène de plissement, de retrait ; mais l'étude organogénique de l'ovule permet de ramener à leur véritable origine ces productions épispermiques : ainsi que je l'indiquais plus haut, il se forme, à la périphérie de l'ovule, une double couche dont les éléments se différencient de plus en plus au point de vue morphologique (2), mais que l'on doit cependant rapporter à une origine commune : c'est, en effet, dans les assises du tégument ovulaire qu'il faut en chercher la trace première, et des observations répétées m'ont convaincu que le nucelle ne

(1) Pl. 3, fig. 25.
(2) Pl. 3, fig. 27, 28.

prenait nulle part à leur formation. Au sujet d'une plante voisine et dont l'étude va suivre ici celle de l'*Antirrhinum*, M. Tulasne s'exprime ainsi : « Lorsque le sac embryonnaire de l'Eu-
» phraise est rempli d'endosperme, on lui trouve une enveloppe
» propre qu'on serait tenté d'attribuer au nucelle accru, mais
» qui vraisemblablement n'est que la couche la plus interne du
» tégument de l'ovule (1). » Au début de mes recherches, j'avais cru pouvoir accorder aussi au nucelle une telle part dans la formation de la zone interne du test (zone à cellules tabulaires) ; mais des dissections nouvelles et multipliées m'ont montré qu'il n'en était rien et m'ont amené à une conclusion semblable à celle que je viens de rappeler.

EUPHRASIA OFFICINALIS.

(Pl. 4.)

L'Euphraise offre dans la constitution de l'ovule et de la graine, ainsi que dans le développement de ses parties, des particularités remarquables et qui mériteraient une longue description. Cependant je ne m'y arrêterai que peu, M. Tulasne ayant déjà fait connaître plusieurs des principaux traits de cette organisation.

Dans le gynécée d'une fleur non encore épanouie, on trouve un ovaire long de $0^{mm},9$ à $1^{mm},2$, renfermant un certain nombre d'ovules ayant déjà pris la forme anatrope (2) par suite d'un développement dont il est inutile de rappeler les différentes phases ; ces ovules sont supportés par un funicule court, ils sont verdâtres et présentent leur micropyle dans le voisinage du point d'attache (3). Le sac embryonnaire, apparu d'abord comme une tache lenticulaire, se développe rapidement, et n'est bientôt plus séparé du canal micropylaire que par une mince bande de tissus, le nucelle ayant été progressivement refoulé par les progrès du sac. Celui-ci ressemble assez souvent à une sorte de matras ou de flacon à long col courbe ; il peut être ainsi placé, au point de vue

(1) Tulasne, *loc. cit.*, p. 48.
(2) Pl. 4, fig. 1.
(3) Pl. 4, fig. 2.

morphologique, près de celui que j'ai décrit dans divers *Veronica* (1).

Il est inutile d'insister sur le développement de l'embryon, M. Tulasne en ayant fait minutieusement connaître tous les détails. Cette plantule, qui présente bientôt une forme allongée, est constituée par un tissu utriculaire délicat; peu à peu le contenu du sac, qui jusque-là n'a consisté qu'en un liquide plasmique, ne tarde pas à s'organiser en grandes cellules à parois peu épaisses qui se segmentent à leur tour, et constituent, en dernière analyse, la masse de l'albumen.

Autour de celui-ci, on voit, à cette période du développement de l'ovule, deux ou trois assises de cellules tabuliformes et assez régulières. La couche la plus interne de cette zone ne se modifie guère, mais on ne peut en dire autant des cellules qui limitent l'ensemble; sur certains points, en effet, on voit quelques-unes de ces utricules qui se relèvent sur le contour de la graine, de façon à former à sa surface les côtes qui décoreront celle-ci (2).

Ce n'est plus, en effet, l'ovule que l'on a sous les yeux à cette époque, mais bien la graine longue d'un millimètre à peine, et présentant déjà sur son test des lignes longitudinales dont nous venons de voir la première ébauche et qu'il est aisé d'étudier par l'examen anatomique de la graine. Je viens d'indiquer ces cellules dont l'accroissement s'opère perpendiculairement au grand axe de l'ovule, et qui commencent ainsi à dessiner des saillies linéaires à sa surface; or, peu après leur élongation, ces utricules s'épaississent, deviennent ponctuées, et sur la coupe de la jeune graine on voit ainsi des mamelons obtus assez régulièrement disposés à sa périphérie et formés de deux de ces cellules fibroïdes.

En résumé, on retrouve, sur la coupe transversale de la graine adulte, des assises périphériques fort analogues à celles que j'ai eu l'occasion de signaler dans l'*Antirrhinum majus :* les côtes, moins marquées, sont formées par un nombre plus réduit de

(1) Pl. 4, fig. 3.
(2) Pl. 4, fig. 7.

cellules, mais leur origine est la même ; le nucelle ne prend aucune part à leur formation, et c'est dans les assises superficielles et profondes du tégument ovulaire qu'il faut exclusivement chercher les éléments histologiques qui, par leur évolution et leurs modifications successives, produisent ici encore ces curieuses formations épispermiques.

La graine de l'Euphraise est portée sur un funicule court et renflé ; son raphé, assez large, est constitué par des cellules allongées.

LINARIA MINOR.

Le genre *Linaria* étant très-voisin du genre *Antirrhinum*, auquel il a même été réuni durant assez longtemps, j'ai pensé qu'il serait intéressant d'étudier, dans une de ses espèces, le développement de l'ovule et de la graine, afin de comparer les résultats de cette étude avec les données fournies par l'examen des mêmes parties chez le Muflier.

Les ovules, d'abord représentés sur le placenta par de simples mamelons assez régulièrement globuleux, ne tardent pas à se recouvrir de leur enveloppe, et, en s'incurvant comme il a été dit, accusent ainsi leur tendance vers la forme anatrope ; en même temps le sac apparaît et se développe en grande partie avant que cette évolution soit complète ; son accroissement est rapide. Sa forme est plus régulière que dans l'*Antirrhinum*, car il est presque toujours ovoïde ou presque elliptique ; l'embryon s'organise à son tour, mais son volume est toujours bien inférieur à celui de l'albumen, ainsi qu'il est facile de s'en assurer par l'étude de la graine.

Celle-ci, à peine longue de $0^{mm},8$, en moyenne, est ovoïde et relevée de côtes parallèles à son grand axe, mais inégales en étendue, les unes la parcourant de l'une de ses extrémités à l'autre, tandis que plusieurs s'arrêtent vers le milieu de sa longueur.

Sur la coupe, cette graine montre un contour relevé de fortes saillies qui sont justement produites par la section des côtes qui

décorent sa surface. Ces côtes sont formées de deux ou trois cellules fibroïdes, épaisses, aréolées, dont le mode de développement est le même que celui des « tuyaux d'orgue » de l'*Antirrhinum;* la couche limitante de la graine, sur laquelle s'appuient ces saillies, est formée par une ligne de cellules épaisses, rectangulaires, généralement vides de tout granule organique et formées par les assises moyennes du tégument ovulaire. En dehors de ces cellules périphériques, se trouve une zone formée par trois ou quatre rangs d'utricules à parois plus minces, à contours polyédriques, mais semblant tendre vers la forme quadrangulaire; la première ligne de ces cellules renferme parfois quelques granules, les autres n'en offrent pas trace. Ces assises appartiennent à la zone profonde du tégument. L'albumen proprement dit vient ensuite, formant la plus grande partie de la graine et composé d'utricules à parois relativement peu épaisses, gorgées de matière amylacée et croissant en volume de la périphérie au centre. En ce dernier point se trouve l'embryon, formé de tissu délicat et n'occupant qu'une assez faible portion de la coupe générale.

On voit donc que le *Linaria minor* offre avec l'*Antirrhinum* la plus grande analogie dans le développement de la graine, la seule différence consistant dans les dimensions de la couche périphérique.

VERBASCUM THAPSUS.

(Pl. 4.)

A la surface du placenta, on rencontre dans les jeunes boutons de petites proéminences obtuses, presque sphéroïdales, composées entièrement d'un tissu utriculaire délicat et homogène : ce sont les premières ébauches de l'ovule. Celui-ci se constitue bientôt par l'addition du tégument qui, peu après son apparition, recouvre la partie inférieure du nucelle, lequel fait encore une saillie très-prononcée lorsque le petit ovule s'incurve pour prendre la forme anatrope (1). Cette incurvation s'opère

(1) Pl. 4, fig. 9.

lentement, et selon une trajectoire assez étendue; arrivé au bout de celle-ci, le micropyle se dirige vers le point d'insertion de l'ovule (1). A ce moment, le micropyle, largement ouvert, laisse passer une assez forte portion du nucelle, mais bientôt le tégument achève son développement, les lèvres de l'orifice micropylaire se rapprochent, et lorsque l'ovule a complétement achevé son évolution, nulle trace du nucelle n'apparaît au dehors.

Durant cette dernière période, le sac s'est formé et développé; l'embryon s'y est constitué à son tour (2), puis le contenu du sac, s'organisant, a formé la masse endospermique. Le développement général de toutes ces parties est très-sensiblement comparable à ce qui a été dit pour les autres Scrofularinées.

DIGITALIS PURPUREA.

(Pl. 3.)

Le développement de l'ovaire s'opérant dans cette plante d'une façon très-analogue à ce que j'ai eu l'occasion de décrire chez l'*Antirrhinum majus* et diverses Véroniques, je crois inutile d'y insister, et passe immédiatement à l'étude organogénique de l'ovule.

Cette étude ne laisse pas que de présenter certaines difficultés en raison de la rapidité avec laquelle l'ovule acquiert une forme bien définie, ne présentant plus qu'un micropyle à lèvres étroitement serrées. Aussi convient-il de disséquer tout d'abord des ovaires longs de 1^{mm},5 à 2 millimètres; ils sont d'ailleurs assez aisément reconnaissables, n'étant encore surmontés que par une sorte de tubercule conoïde, au sommet duquel le futur stigmate est simplement indiqué par une bifidité peu marquée. Dans un tel ovaire, les placentas portent des petits mamelons obtus, présentant sensiblement le même diamètre (0^{mm},7) dans tous les sens, et n'offrant aucune différence dans leurs parties basilaire et apicilaire.

(1) Pl. 4, fig. 11.
(2) Pl. 4, fig. 12.

Ces proéminences augmentent de volume, le tégument apparaît, l'ovule s'infléchit en même temps, et l'on voit le nucelle faisant une saillie assez considérable au dehors de l'exostome (1). Mais la courbure de l'ovule s'accentue davantage; ses dimensions, et particulièrement son diamètre transversal, s'accroissent d'une façon notable; le tégument, s'avançant de plus en plus, tend à recouvrir tout à fait le nucelle (2), lequel ne tarde effectivement pas à être complétement masqué par les lèvres du micropyle allongées et resserrées l'une contre l'autre. L'ovule n'a pas encore tous les caractères de l'anatropie, mais il les acquiert rapidement, et son micropyle vient se placer près du hile. En même temps on découvre par transparence, à travers le nucelle, une sorte de tache grisâtre qui indique la première trace du sac embryonnaire; la coupe transversale d'un tel ovule montre dès lors au centre une petite cavité qui représente ce sac, puis, autour de lui, le tissu nucellaire, et enfin une zone périphérique constituée par des utricules déprimées. Le funicule se modifie souvent de telle façon, qu'on peut assez bien le comparer à une sorte de petite massue portant l'ovule par sa portion élargie et reposant sur le placenta par sa portion rétrécie.

Le sac embryonnaire semble d'abord assez allongé et comme obtus à ses deux extrémités; bientôt pourtant il semble se diviser en trois parties :

1° Une tête plus ou moins renflée;

2° Un col long et étroit;

3° Un corps ou portion renflée rattachée à la tête par l'intermédiaire du col.

Le sac ressemble ainsi fort souvent à une sorte de matras évasé supérieurement. Après l'accomplissement de la fécondation dont M. Tulasne nous a fait soigneusement connaître tous les détails (3), cette cavité grandit, le nucelle disparaît devant ses pro-

(1) Pl. 3, fig. 29.
(2) Pl. 3, fig 30.
(3) L. R. Tulasne, *loc. cit.*

grès, et l'on ne voit bientôt plus autour de lui qu'une enveloppe formée par le tégument. Les extrémités du sac disparaissent ou changent considérablement en forme et en diamètre, ce qui le rend presque cylindrique ; l'embryon grandit ; le contenu du sac s'organise pour former l'albumen : on n'a plus affaire à un ovule, mais à une graine.

Celle-ci est longue de $0^{mm},8$ à $1^{mm},2$; sa forme est prismatique ou pyramidale, relevée par des angles assez saillants (1). Si l'on en pratique la coupe transversale, on trouve au centre l'embryon et son tissu utriculaire très-délicat; autour de lui, les larges cellules amylifères de l'endosperme ; et enfin, limitant le tout, une zone brune et résistante qui n'est autre que la section du test de la graine. Cette enveloppe consiste en une ligne de cellules presque carrées, sur lesquelles s'appuient des cellules allongées et marquées de nombreuses aréolations. En suivant les diverses phases de leur développement, on voit que les côtes qui se relèvent à la surface de la graine de la Digitale ont la même origine que celles qui s'observent dans le Muflier : les cellules extérieures s'allongent de la même façon ; leur encroûtement s'opère par un mode analogue ; mais dans l'*Antirrhinum majus*, ces utricules limitantes sont rayées, tandis qu'elles se rapprochent plutôt du type ponctué dans la Digitale. Nul n'ignore d'ailleurs l'analogie profonde qui rapproche ces deux états, sous lesquels se présentent si souvent les marques extérieures des cellules végétales.

MELAMPYRUM PRATENSE.

Dans chaque loge ovarienne se développent deux ovules, fort différents au point de vue morphologique, l'un étant porté sur un long funicule sensiblement vertical, tandis que le second est appendu à un funicule court et horizontal ; la réflexion de ces ovules est presque nulle.

Le tégument apparaît et se constitue de la même façon que dans les espèces précédentes ; l'ovule s'y développe en présentant

(1) Le raphé est constamment celluleux.

les diverses phases si bien décrites par M. Tulasne (1), et la graine se présente avec une apparence qui rappelle assez celle du *Veronica arvensis*, la radicule de l'embryon regardant le sommet de la cavité ovarienne. Gærtner avait d'ailleurs fort justement reconnu le premier que le *Melampyrum* est l'une des rares Scrofularinées où la radicule ne soit pas voisine de l'ombilic (2). Le raphé est très-court et ne dépasse pas la portion basilaire de la graine ; la coupe transversale de celle-ci y montre l'embryon entouré de l'albumen, qui est à son tour circonscrit par une zone de cellules médiocrement épaisses et tabuliformes, zone formée par le tégument ovulaire.

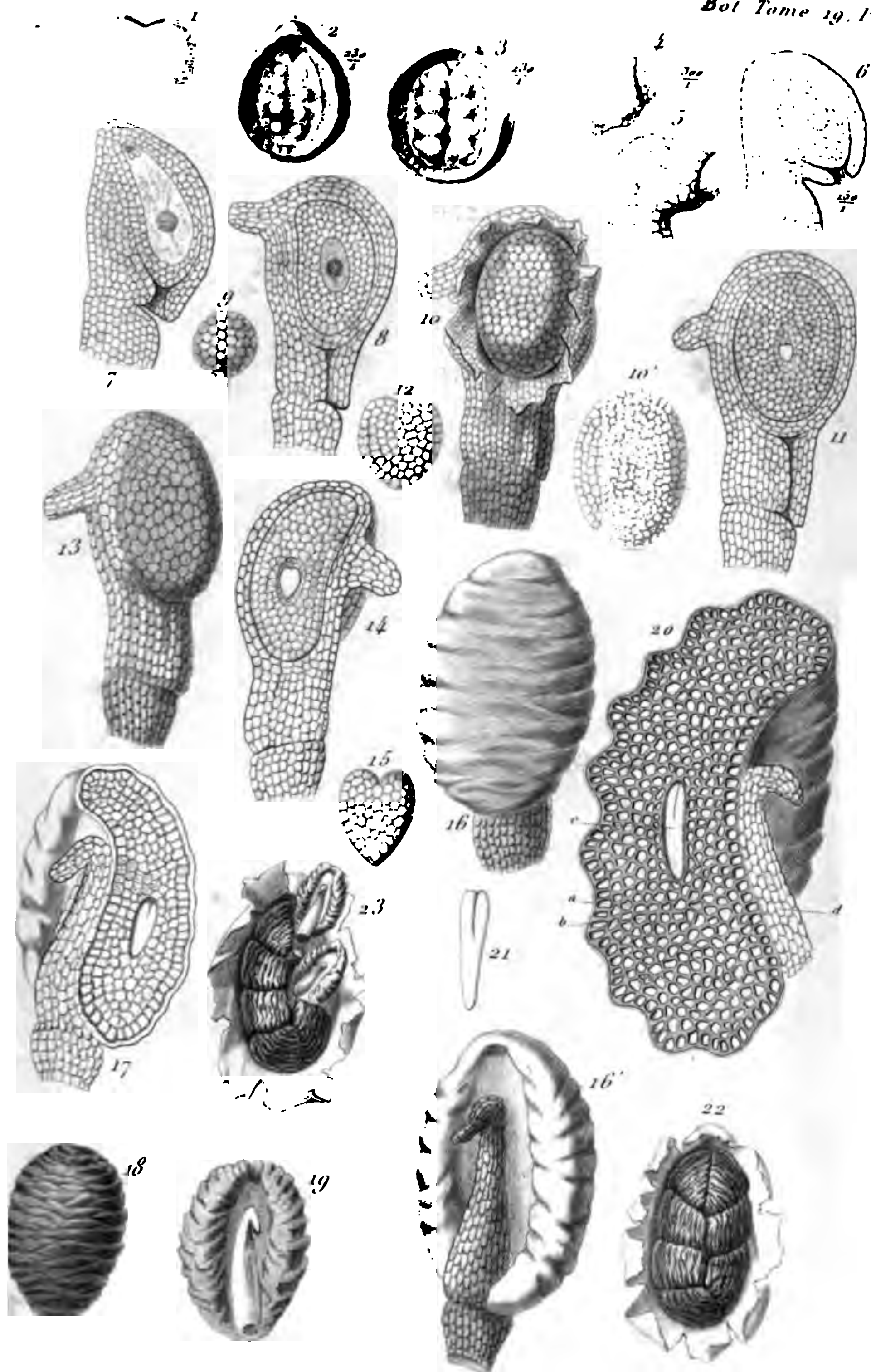
Il est aisé maintenant de résumer les principaux caractères offerts par les Scrofularinées, et de retracer d'une façon générale les diverses phases qu'on y observe dans le développement de l'ovule et de la graine.

Dans ces plantes, comme chez les familles qui vont être étudiées maintenant, c'est toujours sous la forme d'une éminence à structure purement homogène et celluleuse que se montre l'ovule dans son premier âge ; le tégument, dont l'existence me semble générale et constante dans cette famille, puisque je l'ai rencontré dans tous les types que j'ai étudiés, le tégument apparaît bientôt sous la forme d'un petit bourrelet qui, s'allongeant par son extrémité libre, recouvre progressivement le nucelle. Celui-ci se recourbe en même temps de façon à rapprocher son micropyle du funicule, et prend ainsi les caractères de l'anatropie ; puis les lèvres du micropyle se rapprochent plus ou moins rapidement, et le nucelle disparaît sous le tégument. Je crois qu'une étude aussi minutieuse que celle à laquelle je me suis livré de celui-ci dans ses diverses périodes ne peut laisser aucun doute sur son existence; la seule précaution à prendre pour bien l'observer étant de remonter aux plus jeunes âges de l'ovule.

Jusqu'à ce moment le nucelle ne formait qu'une masse celluleuse et continue ; mais, vers l'époque où l'ovule a pris sa forme

(1) L. R. Tulasne, *loc. cit*, p. 63 et suiv.

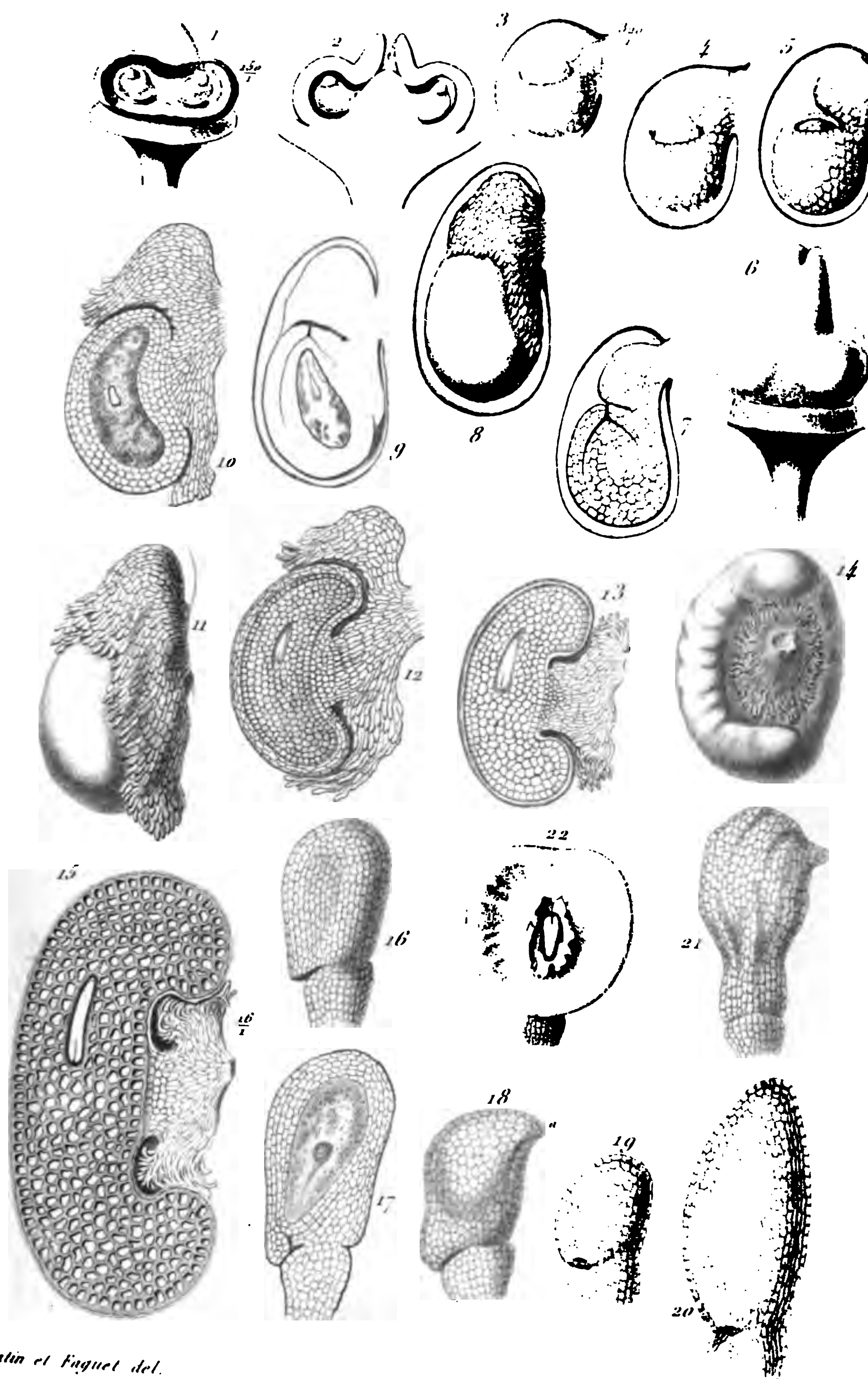
(2) Gærtner, *De fructibus et semin. plantarum*, t. I, p. 244, 249, 256.



alin et Faguet del. Pierre sc.

Ovule et graine du Veronica Buxbaumii.

Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade 15, Paris

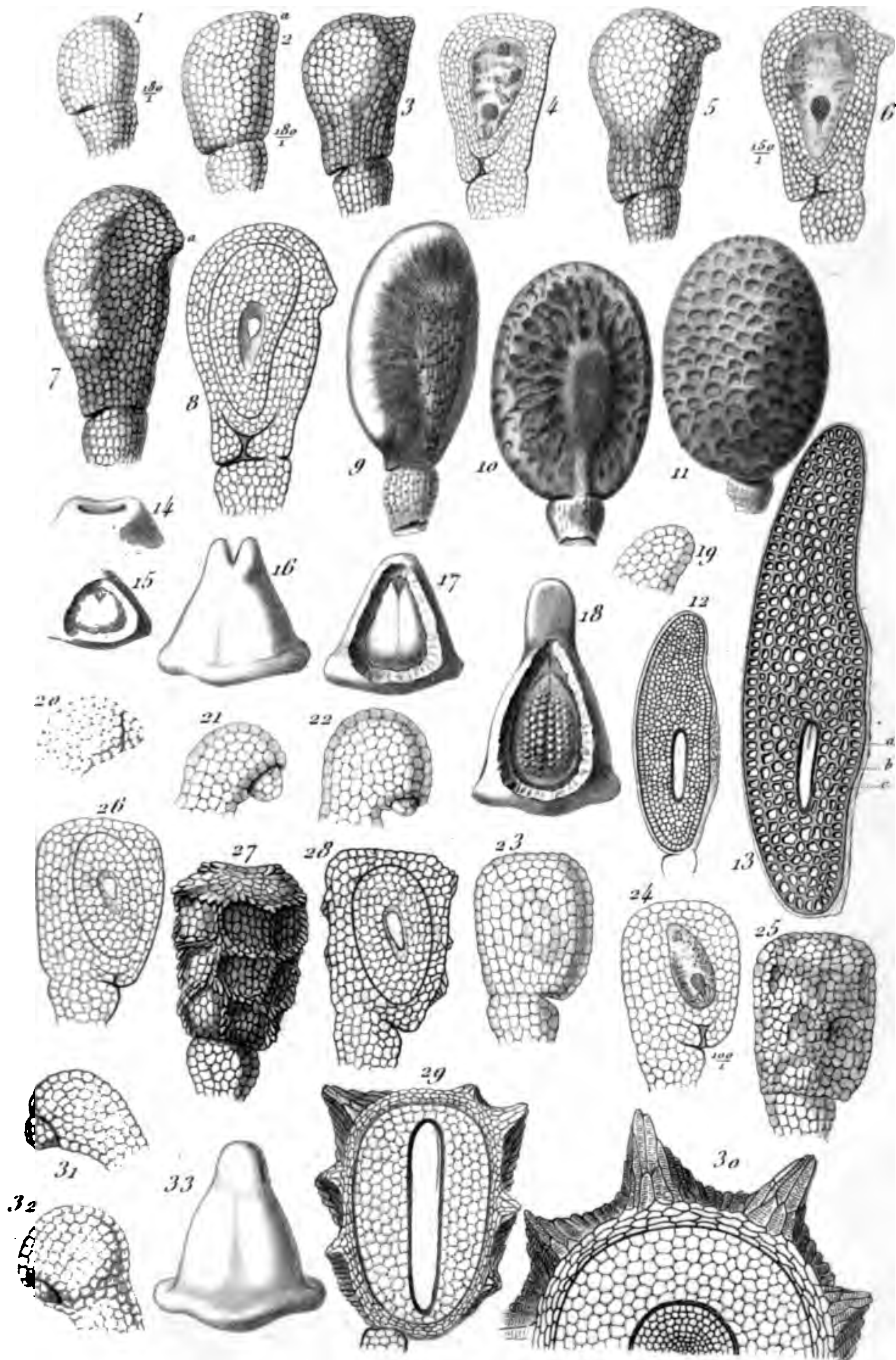


hatin et Faguet del.

Pierre sc.

Ovule et graine des Veronica.

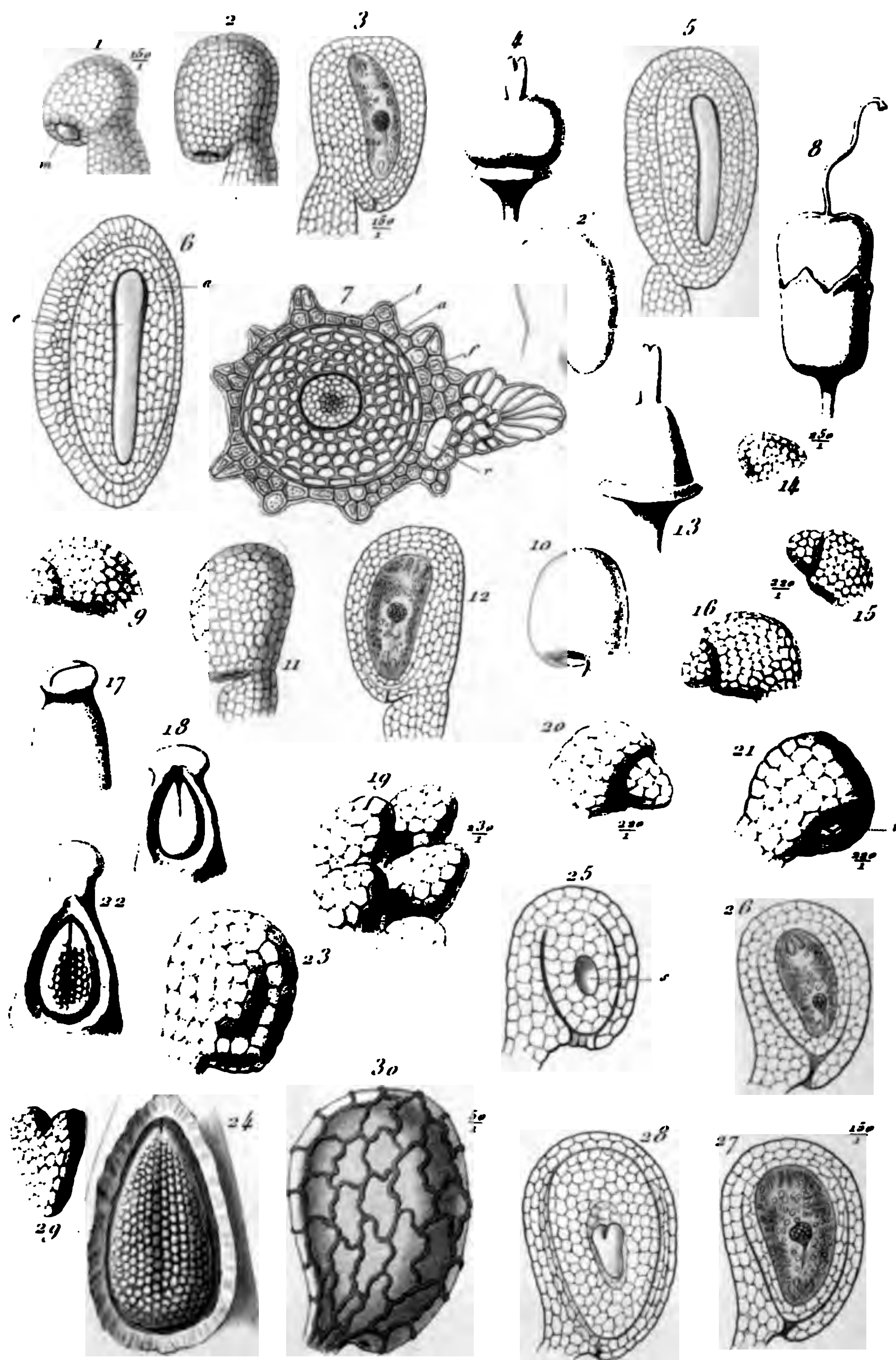
Imp. A. Salmon r. Vieille Estrapade 15. Paris



'hatin et Faguet del. Pierre sc.

Ovule et graine des Scrofularinées.

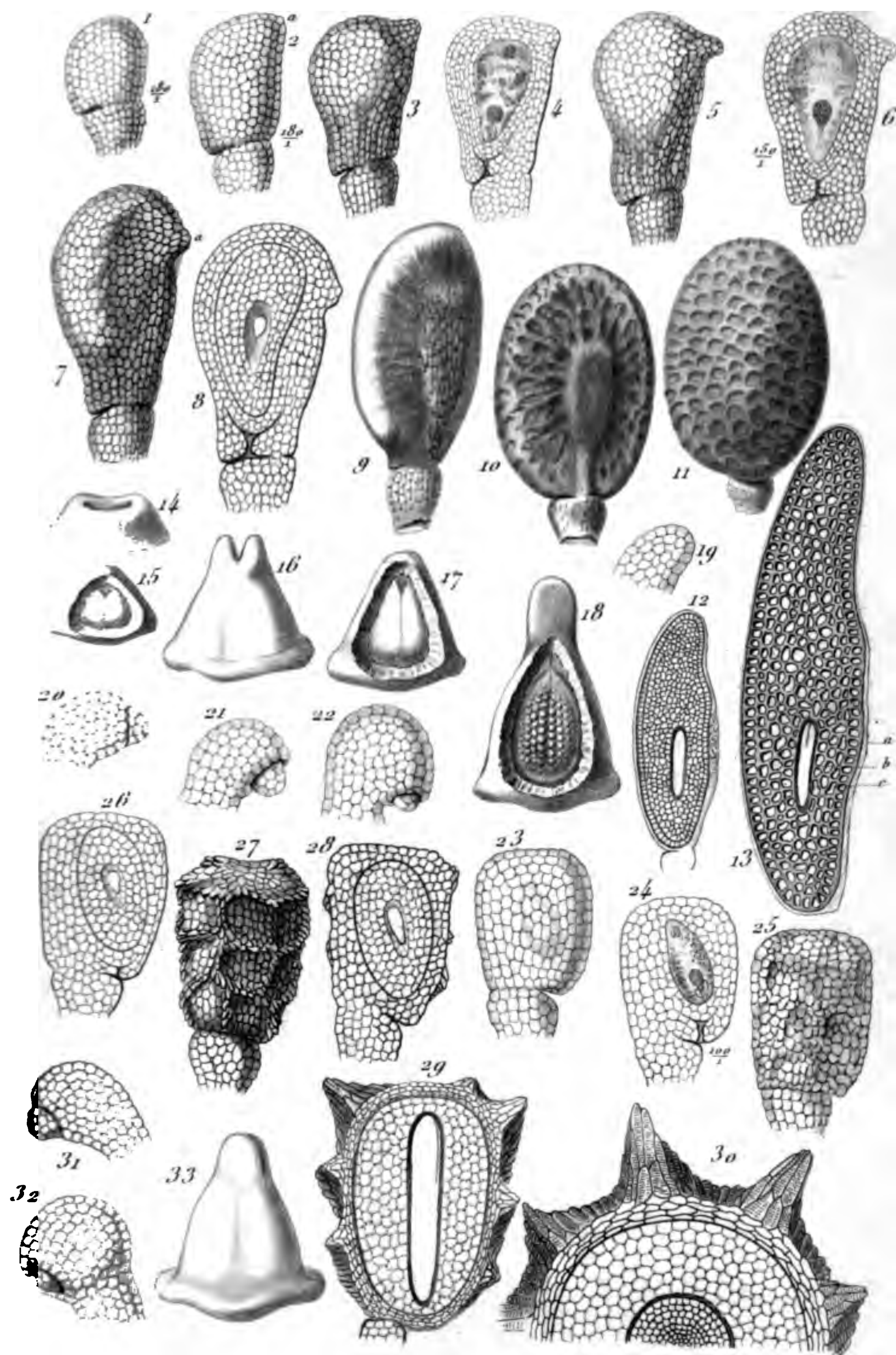
Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade. 15, Paris.



J. Chatin et Faguet del. Pierre sc.

Ovule et graine des Scrofularinées et Solanacées.

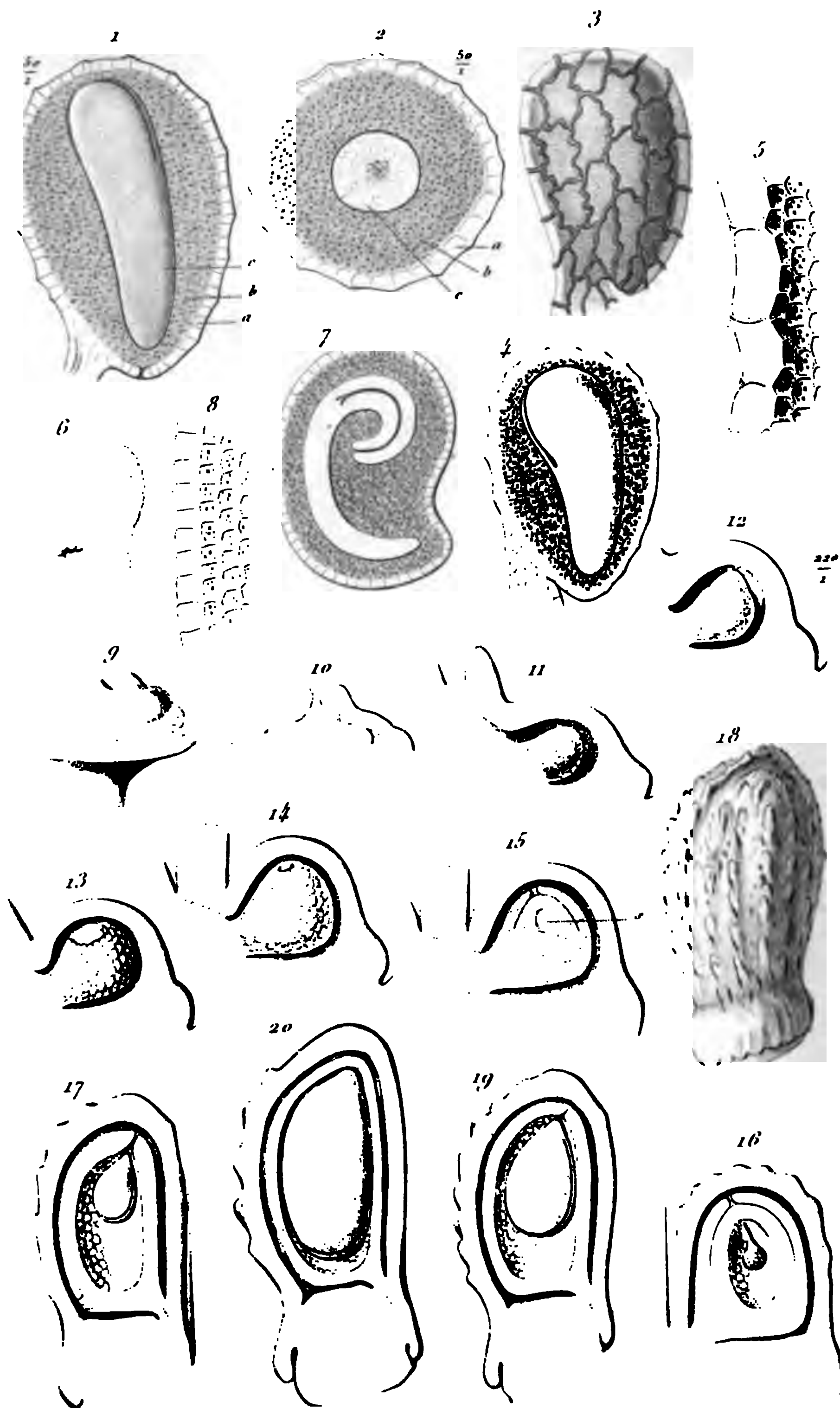
Imp. A. Salmon. r. Vieille Estrapade 15. Paris



...atin et Faguet del. Pierre

Ovule et graine des Scrofularinées.

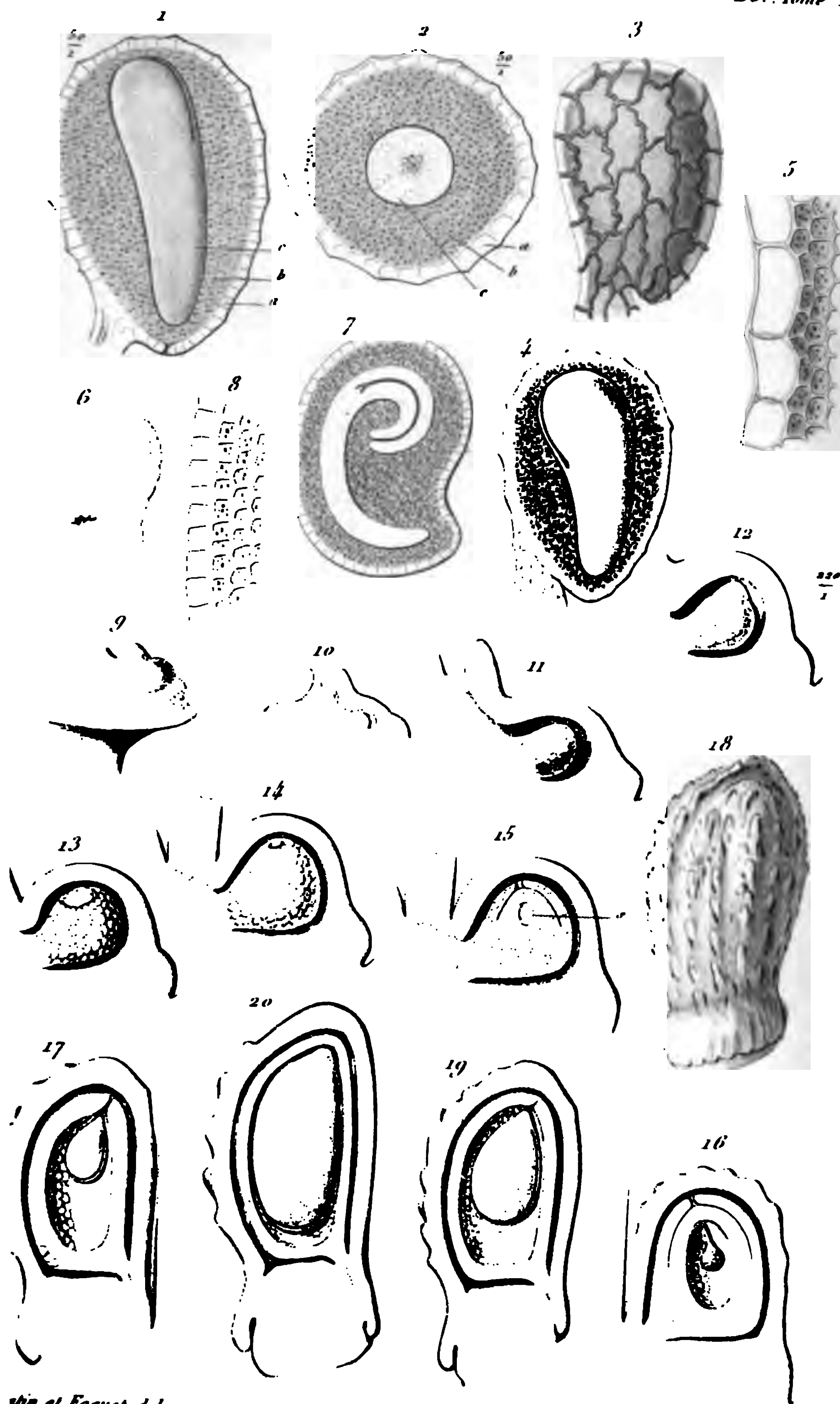
Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.



J. Chatin et Faguet del. Lagesse sc.

Ovule et graine des Solanacées et Borraginées.

Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15. Paris.

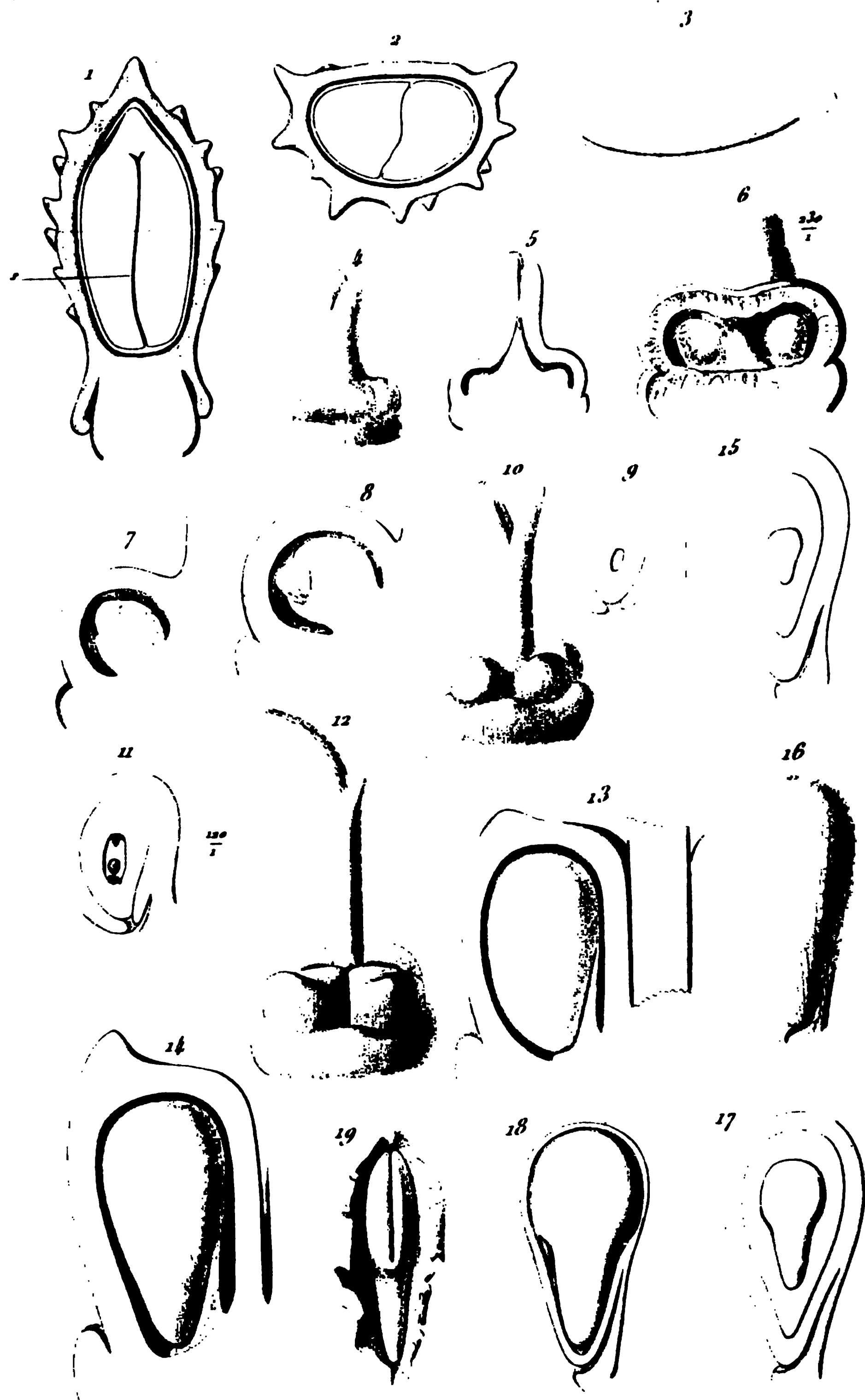


...tin et Faguet del.

Lagesse sc.

Ovule et graine des Solanacées et Borraginées.

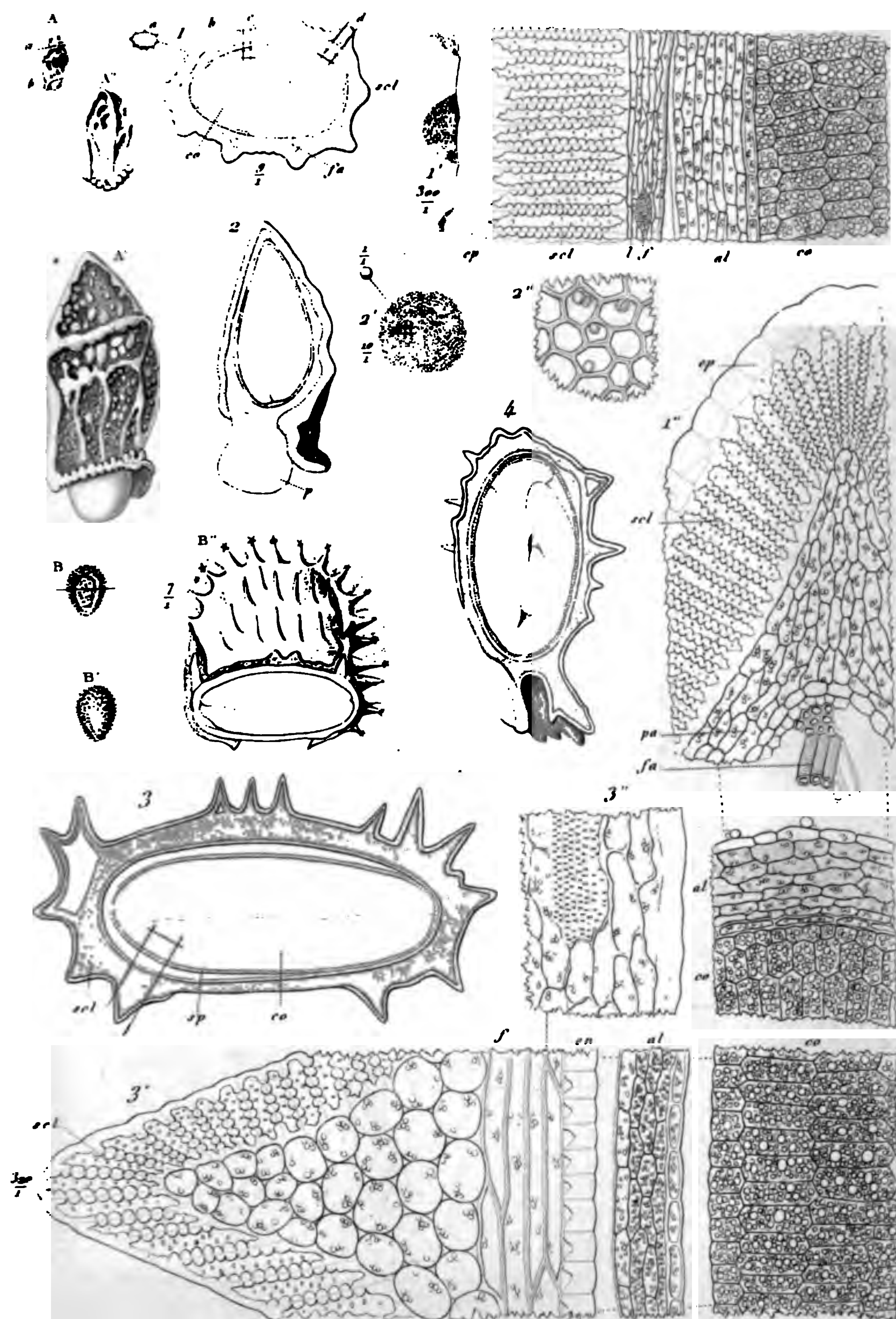
Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.



J. Chatin et Faguet del. Lagesse sc

Ovule et graine des Borraginées et Labiées.

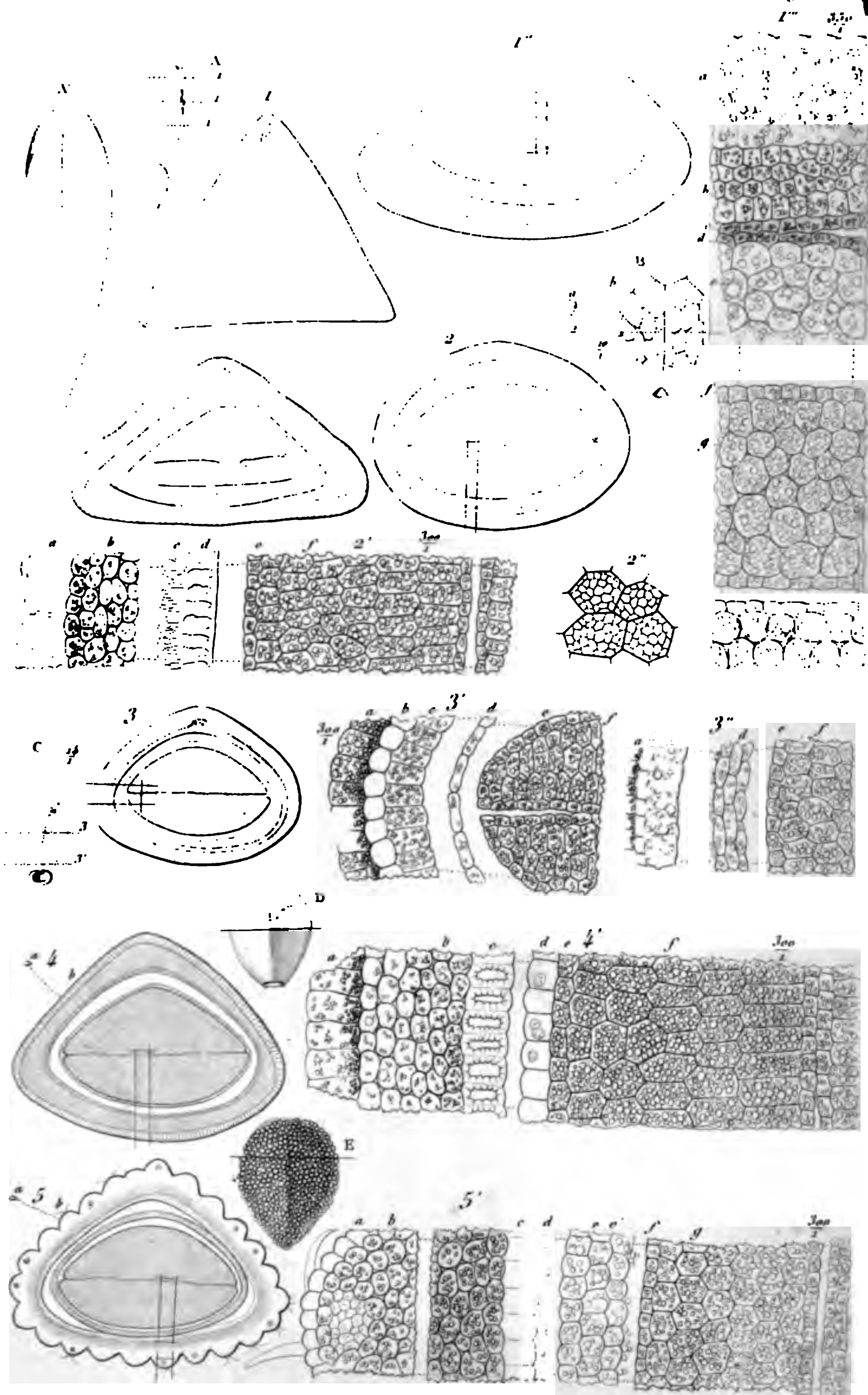
Imp. A. Salmon r. Vieille Estrapade. 15. Paris.



A. Chatin et Laguesse del. Pierre sc.

Anatomie de la graine des Borraginées.

Imp. A. Salmon r. Vieille Estrapade 15. Paris.



J. Chatin et Lagesse del. Pierre sc.

Anatomie de la graine des Labiées.

Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.



anatrope, on voit une vésicule grandir dans un point de sa masse, rarement au centre de celle-ci; puis, cette vésicule continuant de s'accroître, forme le sac embryonnaire. Prenant des aspects divers et souvent bizarres, celui-ci grandit rapidement, refoulant le tissu nucellaire qui se résorbe ; bientôt le sac embryonnaire se trouve ainsi parvenu dans le voisinage du tégument, mais alors des phénomènes de la plus haute importance se manifestent dans son intérieur : le boyau pollinique, arrivant au contact de la paroi externe de ce sac, a déterminé la formation de l'embryon, lequel, après certains états antérieurs et trop connus pour que je m'y arrête, se présente sous la forme d'une petite masse cellulaire. Celle-ci se modifie de façon à représenter une sorte de cœur; puis sa radicule s'allongeant et les cotylédons se dessinant peu peu, on a l'embryon dans son état parfait.

Durant ce temps, le contenu du sac embryonnaire, qui n'était d'abord qu'un liquide plasmique, s'est organisé de façon à présenter une masse cellulaire formée d'utricules larges et à parois minces, plus ou moins polyédriques, dont l'ensemble constitue l'albumen : dès lors l'ovule a vécu, et l'on a sous les yeux, sa forme dernière, la graine.

Rien de plus variable que l'apparence de cette dernière. Dans un seul genre, celui des Véroniques, si intéressant à divers points de vue et dont j'ai fait à dessein une longue étude, on trouve des graines qui semblent orthotropes, d'autres qui sont franchement anatropes, d'autres enfin qui sont recourbées comme des graines campylotropes; les semences des *Antirrhinum*, des *Linaria*, des *Digitalis*, des *Euphrasia*, sont polyédriques, etc.

Si de la forme on passe à la surface extérieure, on rencontre des dissemblances tout aussi nombreuses, tout aussi frappantes. Certaines espèces de *Veronica* ont le test lisse ou peu s'en faut, d'autres y présentent des sillons profonds, des cannelures très-prononcées ; l'*Antirrhinum*, le *Digitalis*, etc., ont des graines à surface rugueuse et relevée de nombreuses côtes saillantes dont l'anatomie permet de déterminer aisément la nature.

Lorsqu'il s'agissait de l'ovule proprement dit, les recherches histotaxiques nous ont fourni d'excellents moyens de contrôle sur

l'importance et l'exactitude desquels je n'ai plus à revenir, mais elles ne formaient pas partie essentielle de son étude, dont la dissection proprement dite était la première et indispensable partie; pour la graine, au contraire, le microscope fournit la vraie méthode d'investigation, et la dissection ne donne plus que des indications très-limitées.

Les coupes pratiquées à travers la masse de la graine montrent tout d'abord la situation relative de l'embryon, son volume, sa direction, puis le développement de l'albumen, sa nature, la forme et les réactions de ses éléments, enfin l'épaisseur et la structure du test, constitué aux dépens du tégument ovulaire et dont les modifications curieuses expliquent les singulières apparences que l'on remarque chez l'*Antirrhinum*, l'*Euphrasia*, etc., et dont j'ai fait connaître la nature.

SOLANACÉES.

A la suite de l'histoire organogénique des Scrofularinées vient naturellement se placer celle des Solanacées. Chacun sait, en effet, par quelles nombreuses analogies ces deux groupes méritent d'être rangés l'un auprès de l'autre dans la série des Corolliflores, et ces analogies se rattachant précisément au gynécée, il m'était impossible de séparer l'étude du développement de l'ovule dans ces familles, et de ne pas comparer les principales dispositions qu'il y présente, soit dans les diverses périodes de son existence, soit dans sa constitution même.

La Scrofularinée type, l'*Antirrhinum* par exemple, se distingue, en effet, d'une Solanacée par l'irrégularité de la fleur dans toutes ses parties, ou plutôt par l'irrégularité du calyce, dont les divisions sont inégales, par l'irrégularité de la corolle, qui est personnée, et par celle de l'androcée, composé ordinairement de quatre étamines didynames (1). Mais ces caractères différentiels ne se retrouvent plus dans le verticille floral interne, et chez les Solanacées, comme dans les Scrofularinées, l'ovaire est formé

(1) On sait que le *Verbascum* a cinq étamines.

de deux carpelles, l'un antérieur, l'autre postérieur, constituant deux loges renfermant un gros placenta axile sur lequel sont portés de nombreux ovules. Ce résumé général des affinités morphologiques entre ces deux familles me dispense d'insister sur la méthode que j'ai suivie pour l'étude de l'ovule et de la graine des Solanacées : leurs parties étant fort semblables, les moyens d'étude ont dû être identiques et m'ont conduit aux résultats dans le détail desquels je vais entrer.

NICOTIANA TABACUM.

(Pl. 4 et 5.)

Lorsqu'on ouvre un bouton de *Nicotiana Tabacum* long de quelques millimètres, on trouve, en son centre, une sorte de cône tronqué surmonté d'une éminence obtuse et coupée par une scissure transversale peu marquée d'ailleurs. La masse inférieure est l'ovaire et la dilatation bilobée est le premier indice du stigmate ; quant au style, c'est à peine si un léger rétrécissement marque le point où se produira son élongation (1).

Ce jeune ovaire renferme dans l'intérieur de ses loges un gros placenta axile sur lequel on ne distingue rien de particulier lorsqu'on l'examine sous le microscope simple (2) ; mais si l'on en sépare un lambeau et qu'on l'examine avec un grossissement de 200 diamètres environ, on aperçoit à sa surface un grand nombre de petits mamelons à forme mal définie ou subglobuleuse et qui sont ici encore les premiers rudiments des ovules (3). Dans les Solanacées comme dans les Scrofularinées, la genèse de l'ovule s'opère donc sensiblement de la même façon, et dans les unes et les autres il revêt, au début de son existence, des caractères morphologiques parfaitement comparables. Cette ressemblance ne se borne d'ailleurs pas à la forme et à la situation, mais s'étend aussi à la structure des mamelons ovulaires ; l'examen histologique montre en effet, dans les ovules du Tabac,

(1) Pl. 4, fig. 17.
(2) Pl. 4, fig. 18.
(3) Pl. 4, fig. 19.

le même tissu que nous avons rencontré dans ceux des Véroniques ou du Muflier : la petite masse nucellaire est uniquement utriculaire et composée de cellules à contour arrondi, à contenu granuleux et plasmique; on n'observe donc nulle différence entre les cellules centrales et celles qui, situées à la périphérie de l'ovule, limitent ainsi l'ensemble. Les mamelons sont d'ailleurs appliqués immédiatement sur le placenta, et l'on ne saurait encore y distinguer aucune portion basilaire ou funiculaire.

Dans l'âge suivant, on constate tout d'abord d'importantes modifications dans les caractères extérieurs du pistil : la masse principale et inférieure s'est allongée et commence à revêtir les caractères définitifs de l'ovaire ; la bifidité stigmatique, plus nettement accusée, est maintenant portée à une assez grande distance de ce dernier, par suite de la formation de la colonne stylaire.— Dans l'intérieur, le placenta s'est accru et semble plus ou moins fongueux ; les ovules subissent aussi, en ce moment, une importante modification : le mamelon primitif s'est allongé et présente un diamètre croissant de son extrémité libre vers son insertion placentaire, il est donc sensiblement conique ; mais cette légère transformation morphologique se complique par l'apparition du bourrelet tégumentaire qui, selon le mode déjà décrit, s'étend vers l'extrémité supérieure ou libre de l'ovule (1) ; celui-ci commence déjà à accomplir le mouvement d'incurvation qui lui est nécessaire pour arriver à sa forme dernière et l'on voit son sommet qui se recourbe légèrement. Les choses demeurent ainsi durant quelque temps, et je crois que, par suite de cette particularité, l'étude du *Nicotiana Tabacum* ne saurait être trop recommandée aux personnes désireuses de se rendre compte de l'évolution de l'ovule et de la formation de son tégument ; il suffit, en effet, d'enlever une parcelle de tissu placentaire et de l'observer avec un grossissement de 150 diamètres environ, pour voir de nombreux ovules présentant la bizarre apparence que leur donne la saillie du nucelle hors de l'ouverture micropylaire.

La structure de ces ovules n'est plus la même que celle des

(1) Pl. 4, fig. 20.

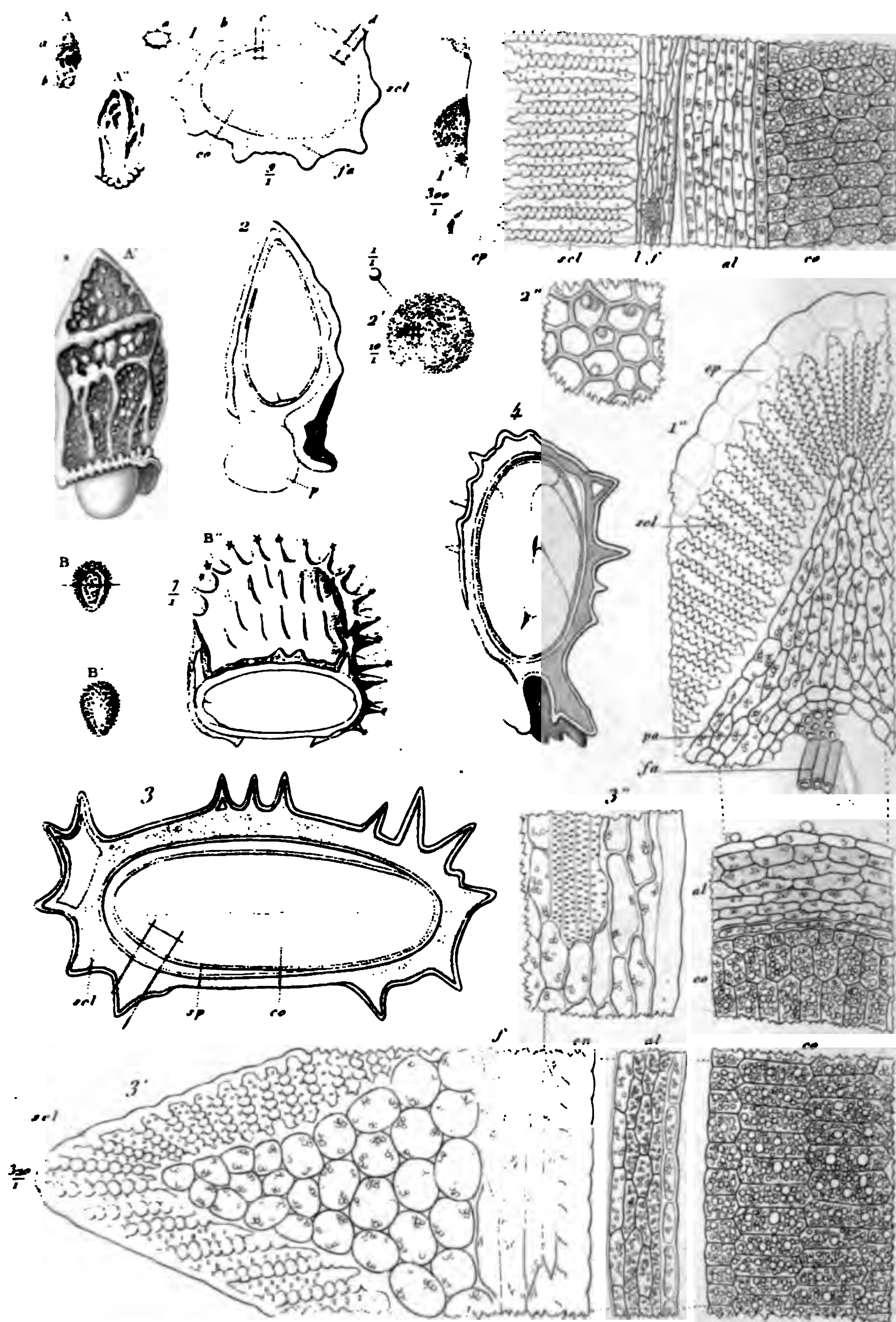
mamelons étudiés dans l'âge précédent : les cellules de la masse nucellaire ont augmenté de volume et de nombre, leur forme est polyédrique et non plus sphéroïdale. Enfin, des cellules déprimées à la façon de celles de l'épiderme se montrent à la périphérie et limitent ainsi l'ovule.

L'ovule continue à se recourber, et pourtant le micropyle laisse encore passer une notable portion du nucelle (1), tandis que dans diverses Scrofularinées le micropyle est presque entièrement fermé, alors que l'ovule indique à peine son mouvement curviligne. Cependant les progrès du développement de l'enveloppe amènent bientôt celle-ci au niveau de l'extrémité nucellaire qu'elle dépasse même, déterminant ainsi le rapprochement des bords de l'ouverture micropylaire.

Un curieux phénomène s'opère aussi vers ce moment : les placentas du *Nicotiana* portent, comme on sait, un très-grand nombre d'ovules, et l'on pourrait supposer que la quantité des graines correspondra à celle des ovules ; il n'en est cependant rien. Dans le premier âge, la masse placentaire était entièrement garnie par les mamelons ovulaires ; or ceux-ci croissant en volume, sans que les placentas s'étendent en proportion, ne sauraient donc se développer tous également et librement ; aussi remarque-t-on chez plusieurs d'entre eux un arrêt complet de développement, et n'est-il pas rare de trouver à leur place la petite fossette qui les logeait et qui est ainsi restée le seul indice de leur existence éphémère. J'ai rencontré très-souvent cet état dans les ovaires que j'ai disséqués, et je crois utile de le signaler en résumant, comme je le fais ici, les principales particularités de la vie de l'ovule.

En examinant celui-ci, vers la période de son développement où nous sommes arrivés, on constate la formation d'un rudiment de sac embryonnaire, lequel apparaît comme une tache grisâtre vers le centre de l'ovule ; il est alors elliptique (2). Les progrès de son développement s'accentuent rapidement, et, lors de l'épanouissement de la fleur, il est complétement organisé.

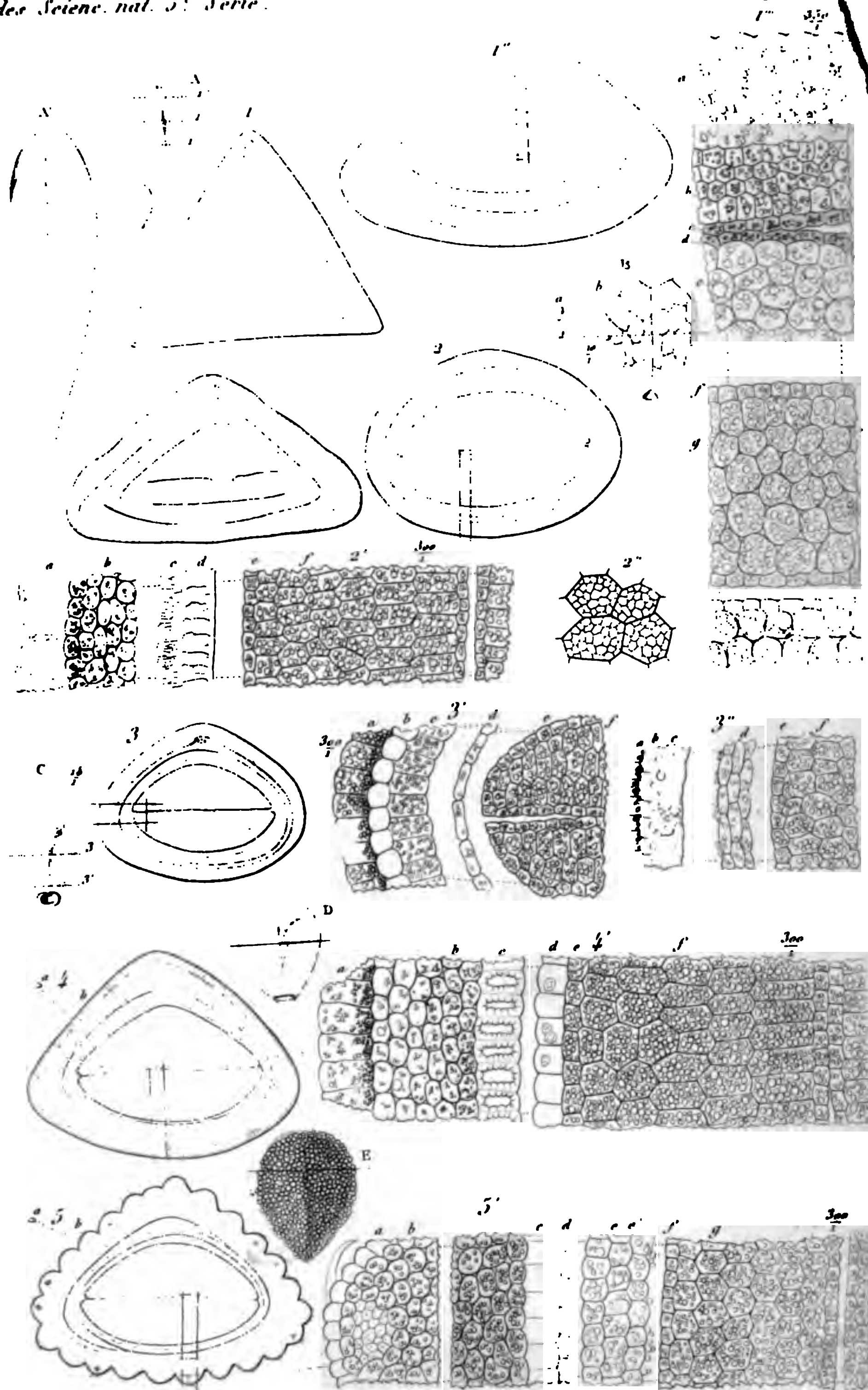
(1) Pl. 4, fig. 21.
(2) Pl. 4, fig. 25.



J. Chatin et Laguesse del. Pierre sc.

Anatomie de la graine des Borraginées.

Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris



J. Chatin et Lagesse del. Pie

Anatomie de la graine des Labiées.

Imp. A. Salmon. r. Vieille Estrapade. 15. Paris.

et le micropyle sont situés à une très-courte distance l'un de l'autre. Sur la coupe transversale, on a tantôt deux et tantôt trois sections de l'embryon, selon que la coupe a passé ou non par la portion infléchie de la masse cotylédonaire. Les cellules de l'albumen sont assez larges, polyédriques, environnant complétement les diverses portions de l'embryon. La graine est entourée par une assise de cellules épaisses, à contour variable, qui forment l'enveloppe résistante de la semence; elles doivent être considérées comme résultant de la transformation des éléments du tégument même de l'ovule.

Le *Datura Stramonium* présente donc, dans le développement de l'ovule, les mêmes caractères principaux que les *Nicotiana*, mais sa graine offre une forme sensiblement différente : son embryon est surtout très-caractéristique, et, par son évolution toute spéciale, donne à la coupe de la graine les aspects si bizarres que l'on trouve figurés dans la planche V.

SOLANUM DULCAMARA.

L'ovaire, de forme allongée, s'élève sur une sorte de disque glanduleux; en ouvrant ses loges, on y constate la présence de nombreux ovules portés sur un gros placenta saillant, et présentant, aux diverses époques de leur développement, des caractères très-semblables à ceux que j'ai décrits chez les *Nicotiana* et *Datura*.

Les mamelons nucellaires, se recouvrant de bonne heure d'un tégument unique et qui s'allonge encore ici très-rapidement, ne tardent pas à se recourber et à acquérir ainsi la forme anatrope (1). Le sac embryonnaire se développe rarement au centre du nucelle, sa cellule primordiale apparaissant presque toujours à une certaine distance de ce point; il refoule peu à peu le nucelle, et finit par contenir l'embryon et l'albumen.

La graine, à surface chagrinée, offre, sur la coupe transversale, la section elliptique de l'embryon; puis, entourant celui-ci,

(1) Certains ovules du *Solanum Dulcamara* présentent, vers le milieu de leur évolution, une courbure assez large pour les faire ressembler alors au type campylotrope.

la masse charnue de l'albumen ; le tout est limité par une couche de cellules épaisses et prismatiques, dérivant du tégument ovulaire et constituant le test de la graine. Lorsqu'au lieu de couper celle-ci transversalement, on la sectionne selon son grand axe, il est aisé de constater la forme très-bizarre de l'embryon dont la portion cotylédonaire se recourbe sur elle-même, de façon à donner à cette partie l'apparence d'une véritable crosse; la radicule, renflée et comme claviforme, est située dans le voisinage du micropyle.

En résumé, cette étude organogénique de l'ovule des Solanacées suivi dans son développement et dans sa transformation en graine, montre que, sous ce point de vue, comme sous plusieurs autres, il faut reconnaître dans ces plantes des caractères extrêmement semblables à ceux qui nous ont été présentés par les Scrofularinées.

La genèse de l'ovule est identique dans ces deux groupes : chez les *Veronica*, comme chez les *Nicotiana*, dans l'*Antirrhinum majus* comme dans le *Datura Stramonium*, de simples mamelons microscopiques sont les premiers indices de ces organes si importants; à cet âge, la structure du mamelon est la même dans les Solanacées et dans les Scrofularinées : c'est toujours ce même tissu utriculaire composé de cellules arrondies et comparables entre elles dans tous les points de la coupe.

Le tégument apparaît presque à la même époque dans les ovules de ces deux groupes, et son évolution n'offre guère que de légères différences dans le temps nécessaire à son entier accomplissement. La masse générale de l'ovule se recourbant en même temps que le tégument se développe, il arrive un moment où l'ovule accuse nettement sa tendance vers la forme anatrope : le micropyle se rapproche ainsi du point d'insertion, et parfois, comme dans le *Nicotiana Tabacum*, on peut voir un faisceau fibro-vasculaire pénétrant dans l'ovule par son point d'attache. Les bords du micropyle se sont rapprochés à la suite du mouvement curviligne de l'ovule, et l'on ne peut dès lors apercevoir la moindre saillie nucellaire ; mais une section pratiquée selon le

grand axe de l'ovule (*Nicotiana*, *Datura*, *Solanum*) permet de retrouver le nucelle occupant l'espace limité par le tégument ovulaire. Le sac embryonnaire apparaît, tantôt vers le centre (*Nicotiana rustica*, *N. Tabacum*, *Datura Stramonium*), tantôt, au contraire, à une distance appréciable de ce dernier point (*Solanum Dulcamara*). Ce sac refoule le nucelle, dans un temps variable chez les diverses espèces, mais assez court généralement, ce qui permet encore de rapprocher les Solanacées des Scrofularinées ; dans l'intérieur du sac se forme l'embryon, puis l'albumen. Celui-ci est copieux comme dans les Personnées, tandis que dans les Borraginées et les Labiées, il manque ou n'est représenté que par une couche très-mince.

L'embryon, d'abord vaguement cordiforme, parcourt, lui aussi, assez rapidement les diverses phases de son existence : parfois simplement recourbé comme dans les *Nicotiana*, il devient au contraire circiné (*Solanum Dulcamara*) ou même véritablement contourné sur lui-même (*Datura Stramonium*). La graine, ainsi constituée par l'albumen et l'embryon, est enveloppée d'une membrane résistante, relevée par des côtes qui y dessinent des reliefs très-variés dans leur configuration ou leur hauteur. L'origine de ce revêtement est aisée à expliquer : constamment refoulé par les progrès du sac embryonnaire, le nucelle s'est trouvé progressivement résorbé, et c'est dans le tégument ovulaire seul qu'il faut chercher l'origine de l'enveloppe séminale. Cette conclusion est identique avec celle que j'ai été conduit à formuler pour les Scrofularinées, et que M. Tulasne semble avoir également admise pour expliquer l'origine du test séminal des diverses Personnées qu'il a observées.

BORRAGINÉES.

A la suite de la famille des Solanacées, se place naturellement celle des Borraginées, qui possède comme elle une corolle monopétale, mais souvent garnie d'appendices à la gorge ; de plus, caractère différentiel bien autrement important au point

de vue qui m'occupe, l'ovaire présente quatre loges renfermant chacune un seul ovule (1).

Ceci suffit déjà à faire supposer que les conditions biologiques de l'ovule vont être sensiblement modifiées; les descriptions qui suivent ne feront que confirmer cette prévision, et sans vouloir les exposer prématurément, je crois cependant devoir faire observer qu'avec les Borraginées commence une partie toute nouvelle de ce mémoire. Chez les Solanacées et les Scrofularinées, en effet, il y avait constamment (excepté dans le genre *Veronica*) de nombreux ovules insérés sur un placenta volumineux et forcés, par leur présence simultanée, à effectuer leur évolution selon certaines conditions destinées principalement à assurer le libre développement de toutes les semences, le plus souvent aplaties ou polyédriques, de façon à pouvoir s'imbriquer ou s'engrener réciproquement. Ici, rien de semblable, l'ovule unique se développe largement, et peut, grâce à l'étendue qui lui est ainsi attribuée, s'accroître d'une façon beaucoup plus large et souvent bizarre, si on la compare à ce que les Scrofularinées et les Solanacées nous ont montré.

Voici pour l'ovaire et l'ovule; la graine n'est pas moins remarquable. Dans les deux familles précédentes, l'embryon était logé au milieu d'un copieux albumen ; dans les Borraginées et les Labiées, au contraire, il formera seul ou presque seul la masse de la graine.

BORRAGO OFFICINALIS.

(Pl. 5 et 6.)

Vers la base du placenta apparaît, dans le jeune bouton, une petite proéminence obtuse (2) qui s'allonge rapidement et semble déjà s'incurver de façon à éloigner son extrémité libre du fond de la loge ovarienne (3). Des coupes pratiquées en différents sens à travers ce petit mamelon nucellaire montrent qu'il est

(1) A ce résumé sommaire des caractères différentiels des Solanées et des Borraginées, est-il nécessaire d'ajouter que ces dernières ont le style gynobasique, etc.?

(2) Pl. 5, fig. 10, *o*.

(3) Pl. 5, fig. 11.

simplement formé par une masse cellulaire complétement homogène et dont les éléments sont sphéroïdaux.

Vers le tiers inférieur de ce tubercule, se forme un bourrelet plus ou moins saillant à sa surface, et représentant la première ébauche du tégument ovulaire ; l'accroissement de cette enveloppe se fait de la façon ordinaire, c'est-à-dire vers l'extrémité libre de l'ovule (1). Au point de vue histologique, celui-ci est alors formé par une masse d'utricules polyédriques et à parois peu épaisses ; cet ensemble est limité par des cellules périphériques assez semblables aux éléments de l'épiderme et dont les parois sont notablement plus épaisses que celles des utricules du nucelle.

Tandis que le tégument s'organise et gagne en étendue, l'ovule tout entier se recourbe et effectue son évolution d'une manière très-remarquable, si on la compare à ce que les Scrofularinées et les Solanacées nous ont présenté : en thèse générale, on peut, en effet, regarder les ovules anatropes de ces plantes comme se recourbant de façon à ramener leur micropyle non-seulement dans le voisinage de leur point d'insertion, mais aussi vers le fond de la loge carpellaire ; ici, au contraire, l'ovule, tout en demeurant anatrope et en dirigeant, par conséquent, son ouverture micropylaire vers le funicule, effectue son mouvement curviligne, non plus vers le fond de la loge, mais vers son sommet, de sorte que cet orifice se trouve tourné du côté du style et non plus du côté du disque (2).

Par suite de cette évolution de l'ovule et de la croissance rapide du tégument, on ne tarde pas à voir au sommet de l'ovule un très-petit pertuis correspondant au canal micropylaire, dont les lèvres se sont progressivement rapprochées à la manière ordinaire (3).

Pendant que l'ovule subit ces importantes transformations, on remarque que la base du carpelle se gonfle et épaissit ses tissus de façon à former une sorte de plateau dont la face dorsale de l'ovule n'est séparée que par un très-mince intervalle.

(1) Pl. 5, fig. 12.
(2) Pl. 5, fig. 13.
(3) Pl. 5, fig. 14.

Les choses étant arrivées à cet état, le sac embryonnaire se montre. Vers l'époque où l'ovule a achevé son mouvement d'incurvation, ou même un peu plus tôt, on voit, par transparence, une sorte de petite tache grisâtre se dessiner vers le tiers supérieur du nucelle : cette apparition indique la genèse du sac qui vient de se former en ce point (1). La cavité de celui-ci s'élargit assez rapidement et devient ovalaire ou elliptique (2) ; enfin, les progrès de son développement amènent naturellement le refoulement et la disparition du nucelle, dont il ne reste bientôt plus de trace.

La fécondation s'étant opérée, l'embryon se forme et se segmente dans la partie supérieure du sac, c'est-à-dire près du canal micropylaire et au-dessous de lui. Durant ce temps, le sac ne renferme qu'un liquide plasmique, et l'on ne peut dire absolument qu'il s'y forme un albumen transitoire analogue à celui qui, chez certaines Labiées, occupe la majeure partie du sac durant le temps que dure l'évolution de l'embryon et ne disparaît que devant les progrès de celui-ci : ici, en effet, ce plasma ne dépasse pas la première période d'organisation.

Ces progrès s'accusant de plus en plus, on peut bientôt extraire du sac une petite masse cordiforme qui représente l'embryon ; il conserve durant fort peu de temps cette apparence et prend bientôt celle d'un battoir dont le manche, c'est-à-dire la radicule, serait supérieure (3). Les cotylédons augmentent de volume et d'épaisseur, et le résultat final de toutes ces modifications est d'amener l'embryon à remplir le sac : la graine est dès lors constituée.

En disséquant cette graine, on est frappé de la position de l'embryon, dont la radicule semble complétement déviée de sa situation normale, puisqu'elle regarde non pas le fond de la loge, mais bien son sommet (4). Cette anomalie n'est qu'apparente et s'explique aisément, si l'on se reporte aux premiers

(1) Pl. 5, fig. 15.
(2) Pl. 5, fig. 16.
(3) Pl. 5, fig. 19.
(4) Pl. 5, fig. 20.

âges de l'ovule. Nous avons vu, en effet, que son anatropie se formait par une évolution toute particulière, amenant le canal micropylaire vers la région supérieure de la cavité carpellaire; à la suite de la fécondation, le suspenseur et l'embryon correspondent d'une manière plus ou moins absolue avec le canal micropylaire, vers lequel se trouve naturellement tournée la radicule.

Pour plus de simplicité, on pourrait se servir d'une locution souvent employée en pareil cas, et décrire la graine de la Bourrache comme une graine à «raphé externe» ; mais le petit cordon fibro-vasculaire qui se remarquait dans le funicule s'étant arrêté à la base de celui-ci, on serait exposé à exprimer de la sorte un caractère peu exact.

L'embryon, examiné en lui-même (1), présente une masse cotylédonaire énorme, séparée en deux parties sensiblement symétriques par une profonde scissure ; la radicule est courte et massive ; les cellules des cotylédons sont à parois peu épaisses, à contour polyédrique, à contenu granuleux. Le tissu de l'embryon se colore en jaune brun lorsqu'on le traite par l'eau iodée.

La graine du *Borrago officinalis* présente, avec la loge qui la contient, des connexions trop intimes pour qu'on puisse séparer leur histoire organogénique, et d'ailleurs le carpelle offre certaines transformations trop curieuses pour que je ne croie pas devoir en dire quelques mots, bien que l'histoire du fruit ne rentre pas directement dans mon sujet.

J'ai dit plus haut que, lorsque l'ovule achevait son mouvement curviligne, on constatait, dans la paroi inférieure de la loge ovarienne, un épaississement qui, s'accentuant encore davantage, finit par former une sorte de plateau dont la face inférieure ou dorsale de l'ovule n'est séparée que par un très-mince intervalle (2). En même temps on voit la surface externe du carpelle se plisser et présenter des stries, puis des mamelons qui se disposent en lignes parallèles au grand axe du fruit (3). Peu après, la base de celui-ci

(1) Pl. 6, fig. 3.
(2) Pl. 5, fig. 16, 17, 19.
(3) Pl. 5, fig. 18.

augmente encore de volume; son tissu constituant devient plus dense, plus serré, en même temps que les parois supérieures ou plutôt latérales du carpelle se prolongent inférieurement de façon à recouvrir sur les flancs cette singulière production, qui se montre comme un gros tubercule blanc et subglobuleux servant de base au fruit du *Borrago*. Quiconque a examiné un de ces achaines a été immédiatement frappé du curieux aspect que lui donne cette sorte de support (1).

Les productions extérieures ayant continué à croître, la surface du fruit est finalement relevée de plusieurs séries de côtes saillantes; les tissus de ces parois s'incrustant, en outre, de matière ligneuse, il en résulte une coque dure et résistante qui protége le fruit et par suite la graine. Lorsqu'on coupe transversalement un des achaines parvenus à l'état parfait, on trouve à la périphérie la zone épaisse et dentelée du tissu carpellaire, puis, plus intérieurement, la graine avec ses deux gros cotylédons (2).

CYNOGLOSSUM OFFICINALE.

(Pl. 7, fig. B-B″, 3, 4.)

Je ne crois pas utile de suivre, dans les diverses phases de leur développement, les deux bourrelets carpellaires qui sont les premiers rudiments du pistil, et je considère seulement celui-ci à dater du moment où ses quatre loges sont constituées par la formation des cloisons.

C'est peu après ces changements que naît l'ovule sous l'apparence d'une simple sphérule, dessinant une très-légère saillie à la base du placenta. Son funicule, dans lequel on découvre aisément un faisceau fibro-vasculaire, s'allonge bientôt, et le tégument se constitue avec une rapidité assez grande; puis l'ovule se recourbe dans le même sens que celui du *Borrago*, c'est-à-dire en dirigeant vers le haut de la loge son micropyle, dont les bords

(1) Pl. 5, fig. 18.
(2) Pl. 5, fig. 20; pl. 6, fig. 1.
(3) Pl. 6, fig. 2.

se rapprochent de plus en plus et ne donnent bientôt plus issue à aucune partie du nucelle (1).

Vers le centre de celui-ci se constitue le sac embryonnaire, qui refoule progressivement le tissu nucellaire et montre ensuite la petite masse de l'embryon s'organisant dans sa région micropylaire. Durant un temps relativement très-long, le contenu du sac consiste simplement en un liquide plasmique; puis celui-ci s'organisepeu à peu, de façon à former un albumen qui entoure l'embryon, mais n'occupe, en dernière analyse, qu'une place fort limitée par suite de l'accroissement considérable de ce dernier. Les détails dans lesquels je suis entré au sujet du *Borrago* me permettent d'être bref sur tout ce qui a trait au développement de l'ovule et de l'embryon; aussi n'y insisterai-je pas, pour arriver tout de suite à la description morphologique et anatomique de la graine.

Le fruit du *Cynoglossum* est un achaine brunâtre, à surface hérissée (2) et présentant un petit pied de couleur claire, analogue à celui qu'on remarque à la base des fruits du *Borrago* et de l'*Anchusa*. Au point de vue histologique, le tissu de cet achaine offre trois zones bien distinctes et qui sont de dehors en dedans : 1° une assise de cellules scléreuses, épaisses et ponctuées, se relevant en certains points pour y former les pointes épineuses qui se remarquent à la surface du fruit; 2° des fibres à parois assez épaisses et à contenu granuleux; 3° une assise d'utricules carrées et peu résistantes, bordant le fruit intérieurement (3).

L'embryon n'est pas ici séparé du péricarpe par une seule assise tégumentaire, comme dans la Bourrache; il y a un albumen membraniforme composé de cellules formant trois ou quatre assises et assez différentes selon qu'on les examine au centre de cet albumen ou au contraire sur ses bords : au centre, ce sont des utricules à contour polygonal et plus ou moins sinueux, à parois

(1) L'examen histologique révèle ici des caractères tout semblables à ceux qui ont été précédemment décrits au sujet du mamelon nucellaire, du tégument, etc.

(2) Pl. 7, fig. 1, B, B', B''.

(3) Pl. 7, fig. 3'.

minces; sur les deux faces de la lamelle albumineuse on trouve une assise de cellules à peu près rectangulaires et à parois plus épaisses.

Enfin vient l'embryon avec sa radicule située dans la même position que chez le *Borrago*, avec ses gros cotylédons profondément séparés par une longue scissure et constitués par des cellules larges et polygonales, à parois peu épaisses, à contenu grossièrement granuleux. Il est à remarquer que ces cotylédons offrent généralement des zones épidermoïdales bien moins marquées que dans la plupart des plantes. Les cellules qui les limitent sont bien encore quadrangulaires ou même carrées, mais leur épaisseur est fort minime et ne diffère guère de celle des utricules situées au centre de la masse cotylédonaire. L'eau iodée colore uniformément en jaune brun tous les tissus de la graine du *Cynoglossum officinale.*

ANCHUSA ITALICA.

(Pl. 7, fig. A-A'', 1-2.)

L'ovaire de l'*Anchusa* présente, dans son développement, les mêmes phases que celui du *Cynoglossum*, et lorsqu'on opère sa dissection dans un jeune bouton, on trouve le mamelon ovulaire se constituant vers la partie basilaire du placenta. Ce mamelon ne tarde pas à s'allonger et à prendre une forme cylindroïde; le tégument se montre en même temps, et l'on voit la petite masse nucellaire qui s'infléchit vers le sommet de la loge; le micropyle montre la saillie du nucelle pendant un temps plus long que dans le *Cynoglossum*, puis cette ouverture se referme vers le moment où l'ovule a achevé son mouvement d'incurvation.

Bientôt apparaît le sac, qui, d'abord ovalaire, ne tarde pas à devenir elliptique ou piriforme; il est limité par une mince membrane transparente et renferme un liquide finement granuleux. A la suite de la fécondation, on voit une petite masse celluleuse apparaître vers le même point que dans les Borraginées précédentes: elle représente l'embryon segmenté. Celui-ci prend aussitôt après un aspect cordiforme, puis la radicule et les coty-

lédons se dessinent et le contenu du sac s'organisant de son côté, la graine se trouve enfin constituée.

L'achaine qui la renferme est assez volumineux, d'abord verdâtre, puis brunissant avec les progrès de l'âge (1); il est supporté par un petit pied blanchâtre (2), formé, comme celui du fruit de la Bourrache, par un tissu cellulaire à éléments rameux, et contenant, dans leur intérieur, des granulations d'un diamètre assez considérable (3). Ce pédicule a la même origine que dans le *Borrago*, et se trouve comme enchâssé dans les deux prolongements inférieurs des parois carpellaires par lesquelles a lieu la communication vasculaire avec le réceptacle. Celles-ci présentent une surface extérieure relevée par plusieurs côtes saillantes : elles sont très-résistantes.

Si l'on pratique une coupe transversale dans l'intervalle de deux des saillies extérieures (4), on constate que le tissu de l'achaine y est formé extérieurement par une assise de cellules épidermoïdales se relevant plus ou moins sur leur face externe, et offrant une forme généralement carrée ; en dedans de cette assise s'en trouve une autre formée par des cellules scléreuses et ponctuées, auxquelles le fruit doit sa solidité ; enfin l'achaine est limité intérieurement par une lame de cellules aplaties, bordée par une assise d'utricules tabulaires endocarpiennes, dans lesquelles on voit des granules d'un vert jaunâtre (5).

En dedans du fruit se trouve la graine avec un mince albumen formé de cellules aplaties, et limité par une assise d'utricules rectangulaires qui le borde du côté du fruit. Enfin, dans l'intérieur de cet albumen lamelleux, se trouve l'embryon avec ses deux gros cotylédons qu'enveloppe une assise de cellules quadrangulaires. Dans toutes les utricules du tissu cotylédonaire

(1) Pl. 7, fig. A', A'',

(2) Pl. 7, fig. A *e*, A' *p*, 2 *p*.

(3) Pl. 7, fig. 2', 2''.

(4) Pl. 7, fig. 1''.

(5) Lorsque la coupe est pratiquée au niveau d'une des côtes saillantes, on trouve les mêmes éléments, mais on constate que l'assise des cellules scléreuses est fortement relevée vers l'extérieur ; en outre, il existe presque constamment un faisceau fibro-vasculaire dans la région interne. — Pl. 7, fig. 1''.

se trouvent des granules qui ne bleuissent pas par l'iode, et sont insolubles dans l'éther.

ECHIUM VULGARE.

L'ovule apparaît encore ici, comme dans les espèces précédentes, sous la forme d'un petit mamelon globuleux ou légèrement allongé, vers le milieu duquel se montre de bonne heure le bourrelet tégumentaire, lequel, s'accroissant en même temps que le nucelle et bientôt même plus rapidement que ce dernier, ne tarde pas à le recouvrir.

L'incurvation de l'ovule s'accentue vers ce moment, et la courbe semble être ici plus étendue que dans beaucoup d'autres Borraginées, de sorte que l'ovule tend vers la forme campylotrope (1). Le sac s'y développe comme dans le *Borrago*, etc., et l'embryon s'y organise peu à peu de façon à le remplir. La radicule est épaisse et renflée ; quant aux cotylédons, ils présentent aussi une masse assez considérable, et sont séparés l'un de l'autre par une profonde scissure curviligne. Au point de vue anatomique, la graine offre les mêmes caractères que dans les espèces précédentes. La surface du fruit est également marquée de nombreuses aspérités, et sa base est supportée par un pied court et renflé, plutôt prismatique qu'arrondi, et différant ainsi de celui que j'ai eu l'occasion de décrire chez l'*Anchusa italica*, etc.

La famille des Borraginées présente, comme le montrent les descriptions précédentes, de nombreuses et importantes différences avec les familles étudiées jusqu'ici. Dans les Scrofularinées et les Solanacées, en effet, le nombre des loges carpellaires et des ovules, la direction selon laquelle ces derniers effectuaient leur évolution, la constitution de la graine, étaient sensiblement

(1) Je crois devoir faire remarquer l'élongation du funicule, qui, vers cette époque de la vie de l'ovule, se présente souvent, chez l'*Echium vulgare*, sous la forme d'un filament très-ténu, que je ne lui ai jamais vu dans les autres plantes de la même famille (*Borrago*, *Cynoglossum*, etc.).

comparables. Mais ici ces points fournissent autant de différences capitales, et, d'un bout à l'autre de leur existence, l'ovule et la graine présentent des dispositions nouvelles.

J'ai trop souvent insisté sur le sens du mouvement curviligne de l'ovule, sur le développement de son tégument et sur la constitution de l'embryon, pour qu'il soit nécessaire d'y revenir; quant à la graine, elle offre des caractères bien spéciaux par rapport aux plantes étudiées jusqu'ici, et c'est seulement dans les Labiées que nous trouverons quelques dispositions analogues à celles que nous avons rencontrées dans les Borraginées. Encore faut-il remarquer que la situation de la radicule n'est pas la même dans ces deux groupes. L'albumen est l'une des parties les plus dignes d'intérêt, puisque tantôt il manque, comme dans le *Borrago officinalis*, et que tantôt, au contraire, il existe, mais n'occupe jamais alors qu'une faible étendue de la masse totale de la graine ; dans ce dernier cas, on a bien sous les yeux l'albumen charnu et lamelleux indiqué dans ces plantes par Endlicher (1), etc.

LABIÉES.

Par le nombre et la profonde lobation des deux carpelles, par la nature même de la graine, pour ne chercher aucune analogie en dehors du cadre de ces études, les Labiées méritent d'être placées auprès des Borraginées, et je crois devoir les décrire à la suite de celles-ci, sans pour cela vouloir préjuger entre elles une affinité plus étroite que de raison. Les caractères différentiels sont effectivement assez marqués entre ces deux groupes, et la direction même selon laquelle s'opère le mouvement d'incurvation de l'ovule pourrait suffire à distinguer les Borraginées des Labiées.

Dans la première de ces deux familles, on voit, en effet, le mamelon nucellaire se recourber vers le placenta, de façon à présenter bientôt son orifice micropylaire dirigé vers celui-ci, tandis que le raphé, ou la côte dorsale de l'ovule, se trouve dans

(1) Endlicher, *Enchiridion botanicum*, 1841, p. 32.

le voisinage immédiat du fond de la loge. Dans les Labiées au contraire (*Lamium*, *Salvia*, etc.), l'incurvation de l'ovule s'effectue en sens inverse, de telle sorte que le micropyle est réellement externe et tourné vers le fond de la loge, tandis que le raphé regarde le centre de la fleur. De ces différences dans la direction de l'ovule résultent nécessairement des dissemblances dans la configuration de la graine, et surtout dans la situation de la radicule ; or les Scrofularinées et les Solanacées ne nous ont rien présenté de pareil : dans ces deux familles, l'embryon offrait le même aspect général, et le micropyle ne variant pas dans sa direction générale, il était tout naturel de voir la radicule se maintenir constamment dans la même situation, par rapport à la place occupée par la graine sur le placenta. Il y aurait encore quelques autres particularités à relever, mais je crois qu'elles seront mieux placées à la suite des descriptions particulières ; je n'y insisterai donc qu'après avoir analysé les résultats fournis par les Labiées que j'ai étudiées.

LAMIUM.

(Pl. 6 et 8 : *Lamium purpureum*, *L. maculatum*, *L. garganicum*, etc.)

Dans la fleur non épanouie, mais offrant déjà son ovaire bien conformé, et présentant ses quatre loges distinctes et son style bifide au sommet, on observe que l'ovule a déjà perdu l'apparence d'un mamelon (1) pour prendre celle d'une sorte de cylindre qu'enveloppe partiellement le tégument (2) ; celui-ci s'accroît d'ailleurs avec une médiocre rapidité, tandis que l'ovule se recourbe, de sorte que le nucelle fait encore une saillie très-prononcée, alors que le mouvement d'incurvation est déjà accusé depuis quelque temps (*Lamium garganicum*, *L. maculatum*, etc.) (3).

L'ovule continuant à se recourber, le micropyle se trouve

(1) Pl. 6, fig. 5 et 6.
(2) Pl. 6, fig. 7.
(3) Pl. 6, fig. 8.

porté dans le voisinage du point d'insertion, et la forme anatrope s'accentue ainsi très-nettement ; dans certaines espèces mêmes, telles que le *L. album*, on remarque le long de la face dorsale de l'ovule une côte saillante qui mérite assez bien le nom de raphé. Bientôt les bords de l'orifice micropylaire se rapprochant, on n'aperçoit plus de trace du nucelle ; l'ovule a acquis sa forme dernière, et parfois il s'aplatit notablement sur sa face dorsale (*L. maculatum*).

Quant au sac embryonnaire, il apparaît, comme toujours, sous la forme d'une mince vésicule qui devient bientôt elliptique ou ovalaire (*L. maculatum*) (1), et souvent aussi offre un aspect claviforme (*L. purpureum*), ou présente des appendices signalés par M. Tulasne (2).

L'embryon se constitue dans la portion du sac qui est voisine du micropyle, et c'est aussi, cela va de soi, vers cette ouverture que se dirige sa radicule, lorsqu'il a passé par les états de sphéroïde cellulaire (3) et de masse cordiforme. En ce moment, le sac renferme un liquide plasmique et granuleux, qui bientôt s'organise pour former un mince albumen, lequel disparaît à mesure que l'embryon grandit.

Cet embryon finit en effet par constituer la presque totalité de la graine, dont je dois étudier maintenant la structure, sans séparer son étude de celle de l'achaine, pour les motifs que j'ai donnés précédemment. Le fruit des *Lamium* est ordinairement prismatique ou polygonal (4) : au commencement de sa maturation, il offre une forme comprimée et n'est que fort peu élevé (*L. purpureum*, etc.) ; mais bientôt ses côtes se dessinent, et se prolongent même parfois au-dessus de sa face supérieure : il prend ainsi peu à peu son état définitif, et la graine le remplit alors presque exactement.

Sur la coupe longitudinale de ce fruit, on constate aisément le

(1) Pl. 6, fig. 9.

(2) L. R. Tulasne, *Nouvelles études d'embryogénie végétale* (*Ann. des scinnces nat.*, 4e série, 1855, t. IV, p. 67).

(3) Pl. 6, fig. 11.

(4) Pl. 8, fig. A.

grand développement de l'embryon avec lamasse de ses cotylédons profondément échancrée par la scissure qui sépare les deux feuilles embryonnaires (1). — La coupe transversale montre que le fruit se compose de trois zones bien distinctes par la forme de leurs éléments et la nature de leur contenu; ce sont de dehors en dedans : 1° une assise de cellules allongées dans un sens perpendiculaire au grand axe de l'achaine, à parois médiocrement épaisses, sinon sur la face externe, qui est fortement convexe : ces utricules renferment des granules que l'iode colore en bleu; 2° une couche formée généralement de quatre ou cinq assises de cellules courtes, polygonales, renfermant des granulations non colorables par l'iode ; 3° une assise interne formée de cellules quadrangulaires qui, durant assez longtemps, présentent une teinte verdâtre très-prononcée (2).

En dedans de cette zone se trouve la graine, qui comprend l'albumen et l'embryon. J'ai déjà dit que la masse albumineuse disparaissait à mesure que celui-ci grandissait; je dois ajouter que l'albumen est surtout développé autour de la radicule, et se colore en bleu par l'iode dans son jeune âge, tandis que plus tard l'iode le colore en jaune brun. Quoi qu'il en soit, la graine est constamment limitée par une assise de cellules brunâtres ou jaunâtres (3) et quadrangulaires; elles forment le tégument séminal, et représentent l'enveloppe ovulaire réduite à une assise de cellules; en dedans de cette couche vient l'albumen lamelleux, et enfin l'embryon avec ses utricules fines et délicates, dont le contenu jaunit au contact de la teinture d'iode. Les cotylédons sont limités par une assise de cellules épidermoïdales à section carrée ou sensiblement rectangulaire (4).

(1) Pl. 8, fig. A'.

(2) Pl. 8, fig. 1''', *a*, *b*, *c*.

(3) Cette dernière teinte est celle qui domine dans les premiers âges, durant lesquels l'assise périphérique de la graine est parfois même verdâtre.

(4) Pl. 8, fig. *f*.

MELISSA OFFICINALIS.

(Pl. 6 et 8.)

L'ovule apparaissant d'abord sous la forme d'un simple tubercule très-peu saillant, puis s'allongeant et recouvrant bientôt son nucelle d'un tégument, selon le mode habituel, ne tarde pas à prendre la forme anatrope, son micropyle se rapprochant du funicule. Ce dernier se creuse même d'une sorte de dépression ou de cupule, dans laquelle l'extrémité de l'ovule semble vouloir se loger (1).

Le sac embryonnaire se constitue rapidement et prend une forme ovalaire, rarement elliptique (2); l'embryon s'y montre bientôt comme une sorte de petite masse cordiforme, sa radicule s'allonge naturellement vers le micropyle; en même temps la région cotylédonaire s'épaissit, et l'embryon revêt ainsi peu à peu la forme d'un battoir. Ses dimensions s'accroissent progressivement, tandis que le contenu du sac embryonnaire s'est organisé pour constituer un albumen transitoire que refoule la jeune plantule, dont le développement ne s'arrête plus (3), et qui n'est bientôt recouverte que par une mince couche tégumentaire (4).

Le fruit et la graine (5) diffèrent peu de ce qu'ils sont dans les Labiées étudiées en premier lieu. Le fruit est également prismatique, de couleur brune, long de quelques millimètres à peine,

(1) Pl. 11, fig. 7. — Au sujet de cette évolution de l'ovule du *Melissa officinalis*, il convient de faire remarquer combien son extrémité micropylaire se trouve amincie, au moins durant une période de l'existence de l'ovule; ce dernier présente ainsi, sous ce rapport, un aspect assez analogue à celui qui nous a été offert par les différents *Lamium*, et surtout par le *L. album*.

(2) Le refoulement du nucelle et sa disparition progressive à la suite du développement du sac embryonnaire s'opèrent ici avec une lenteur très-sensible, si l'on se rapporte à ce qu'on observe dans plusieurs des plantes étudiées précédemment, et particulièrement dans diverses Scrofularinées.

(3) Pl. 6, fig. 14, 15.

(4) Pl. 6, fig. 18, 19.

(5) Pl. 8, fig. C, 3-3''.

et d'un toucher onctueux ; si on le comprime sensiblement pour en faire la coupe, on remarque que celle-ci est entourée d'une sorte d'atmosphère visqueuse qui en rend l'examen difficile et peu précis. L'anatomie fournit aisément l'explication de ce phénomène. Le fruit est en effet formé de trois assises de cellules, constituant chacune une zone distincte et séparée : 1° une couche extérieure formée d'une seule rangée de cellules à parois peu épaisses et à contenu granuleux et mucilagineux : ce sont ces utricules qui, facilement détruites par le froissement ou la pression, laissent alors échapper leur contenu, qui se répand autour du fruit et produit l'effet qui vient d'être signalé; 2° une assise de cellules plus ou moins sphéroïdales et vides de toute matière organisée ; 3° une assise d'utricules à section quadrangulaire et à contenu granuleux (1).

Un petit espace vide sépare généralement le fruit de la graine que compose presque entièrement l'embryon ; celui-ci forme, il est inutile de le dire, la presque totalité de la semence, et n'est entouré que par une mince lame tégumentaire. Cette dernière zone est d'ailleurs d'autant moins épaisse, que la coupe est pratiquée dans un point plus voisin des cotylédons : une section passant par la région radiculaire montre ainsi trois assises de cellules constituant cette enveloppe (2), tandis qu'une coupe analogue, pratiquée vers le milieu de la graine, au point où sont les cotylédons, ne rencontre plus qu'une seule assise de cellules plus ou moins quadrangulaires, et séparant ainsi seul l'embryon de la paroi interne du fruit (3). Les cotylédons sont bordés par une assise de cellules à section quadrangulaire ; quant aux utricules qui forment la masse de l'embryon, ils sont polyédriques, à parois minces, à contenu granuleux et brunissant au contact de l'eau iodée ou de la teinture d'iode.

(1) Pl. 8, fig. 2'', *a*, *b*, *c*.

(2) Pl. 8, fig. 3''.

(3) Pl. 8, fig. 3'. — Il est à peine besoin de faire remarquer que cette zone tégumentaire est continue tout autour de la graine, sans s'interrompre au niveau de la scissure intercotylédonaire.

SALVIA.

(Pl. 8, B, 2-2″ : *Salvia Lantanæfolia*, *S. Sclarea*, *S. pratensis*.)

L'ovaire des Sauges se montre tout d'abord avec l'apparence de deux bourrelets, qui, se réunissant par leur base, finissent par former une masse d'abord biloculaire, puis quadriloculaire par la constitution et le développement des lames placentaires. En même temps le stigmate bifide a revêtu ses caractères définitifs, et s'est trouvé peu à peu exhaussé par la colonnette stylaire.

Le réceptacle se gonfle à mesure que le pistil se développe, et finit par constituer un disque plus ou moins arrondi.

Quant à l'ovule, il se montre sous la forme d'un mamelon globuleux naissant à la surface du placenta; sa structure est alors celluleuse et homogène. Mais bientôt le bourrelet tégumentaire se dessine; l'enveloppe ovulaire s'accroît rapidement dans la direction du micropyle, et, durant cette période, l'ovule se recourbe vers le fond de la loge ; la saillie nucellaire ne se montre bientôt plus hors du micropyle, et l'ovule devient anatrope.

C'est généralement vers le tiers supérieur du nucelle qu'apparaît la vésicule, qui, se développant de plus en plus, constitue le sac embryonnaire ; celui-ci est ovale-elliptique, ou présente deux dilatations très-marquées; à la suite de la fécondation, l'embryon s'y forme, et se constitue peu à peu en prenant ses caractères ordinaires. Durant longtemps, le sac embryonnaire ne renferme qu'un liquide plasmique; mais bientôt ce liquide s'organise, de façon à constituer ainsi peu à peu un albumen à larges cellules, qui se trouve résorbé à mesure que la plantule s'accroît, et ne se rencontre plus dans la graine.

L'achaine, plutôt conique que prismatique (1), présente une surface aréolée et une teinte générale d'un brun marron ; il est formé par deux assises de cellules, dont la plus extérieure est com-

(1) Pl. 8, fig. B.

posée d'éléments à parois épaisses, perpendiculaires au grand axe du fruit, à face externe convexe (1); quant aux cellules internes, elles forment généralement quatre assises dont les éléments sont à contour arrondi ou faiblement polygonal, à parois minces, à contenu granuleux et abondant (2). Il faut donc noter ici l'absence de cellules carrées et souvent épaisses, limitant l'achaine du côté de la graine, cellules dont l'existence est commune dans les Labiées.

La graine vient immédiatement après, et l'on ne peut réellement lui accorder d'albumen. L'embryon se trouve en effet simplement recouvert par une double assise de cellules; l'extérieure est formée de cellules à parois épaisses et à surface aréolée ou plutôt celluleuse, assez semblables aux éléments qui constituent le test de la graine dans certaines Scrofularinées (*Digitalis*, etc.) (3); au-dessous des cellules se trouve une autre assise composée d'utricules plus larges et à contours plus sinueux (4) ; puis immédiatement au-dessous vient l'assise épidermique des cotylédons, lesquels sont régulièrement limités par cette zone, et présentent une masse considérable formée de cellules à parois minces, à contour polyédrique, à contenu granuleux, et jaunissant au contact de l'iode (5).

STACHYS SYLVATICA.

(Pl. 8, D, 4-4'.)

Le développement de l'ovule, du sac embryonnaire et de l'embryon s'effectuant dans des conditions analogues à ce qui a été dit des autres plantes de la famille (6), j'arrive immédiatement à la description de la graine.

Le fruit qui la contient est un achaine sensiblement triangu-

(1) Pl. 8, fig. 2', *a*.
(2) Pl. 8, fig. 2', *b*.
(3) Pl. 8, fig. 2', *c*.
(4) Pl. 8, fig. 2', *d*.
(5) Pl. 8, fig. 2', *f*.
(6) Voy. Tulasne, *loc. cit.*, p. 71.

laire (1), à surface lisse, et formé, au point de vue histologique, par trois zones faciles à distinguer, si l'on considère la nature de leurs éléments : à l'extérieur du fruit est une assise de cellules allongées perpendiculairement à son grand axe, à face externe convexe, à parois minces, renfermant quelques granulations ; à la suite de cette couche limitante vient une zone comprenant plusieurs assises d'utricules à parois minces, à contour arrondi ou faiblement polyédrique, renfermant quelques gros grains colorables en brun par l'iode ; enfin le tout est limité intérieurement par une assise de cellules aréolées, à parois épaisses et généralement vides (2).

La graine ne m'a point présenté d'albumen, mais une simple assise tégumentaire formée d'une assise de grosses cellules carrées, dont la face externe est convexe, et dans l'intérieur desquelles sont parfois de gros granules. Cette assise s'applique immédiatement sur la couche épidermique des cotylédons ; le développement de ceux-ci est considérable, et leurs cellules sont peu différentes de celles qui vont être décrites dans l'embryon du *Scutellaria Columnæ.*

SCUTELLARIA COLUMNÆ.

(Pl. 8, E, 5'.)

Au point de vue du développement de l'ovule proprement dit, je me bornerai à signaler la lenteur relative avec laquelle le tégument effectue son évolution, particularité qui a pour résultat de permettre au nucelle de prolonger davantage sa saillie en dehors de l'ouverture micropylaire.

La constitution de la graine s'y montre avec les mêmes caractères généraux que dans les plantes voisines : elle est renfermée dans un achaine à surface mamelonnée ou relevée par des sortes de côtes plus ou moins interrompues (3). La structure

(1) Pl. 8, fig. D.
(2) Pl. 8, fig. 4', *a*, *b*, *c*.
(3) Pl. 8, fig. E.

intime de ce fruit offre les éléments suivants : Extérieurement il est revêtu par une assise de cellules à face externe convexe, généralement vides de tous granules organisés, et supportant quelques poils courts (1) ; vient ensuite un tissu dense et formé d'utricules granulifères à parois minces, au milieu desquelles sont quelques faisceaux de fibres minces (2) ; enfin l'achaine est antérieurement bordé par deux assises de cellules quadrangulaires très-différentes par leurs dimensions, la couche interne étant formée par des éléments bien plus larges que ceux de l'assise limitante et tout à fait externe (3).

La lamelle albumineuse comprend presque constamment trois assises de cellules polyédriques (sauf la couche externe, dont les utricules sont sensiblement quadrangulaires) ; les parois de ces éléments sont minces ; leur contenu granuleux jaunit au contact de l'iode (4).

Les cotylédons, régulièrement circonscrits par leur assise épidermique, offrent un grand développement ; leurs cellules sont larges, polyédriques et granulifères (5).

En rapprochant entre elles ces diverses descriptions, il est aisé de constater combien sont nombreuses, au point de vue où je dois me placer, les analogies qui rapprochent les Labiées des Borraginées. Dans l'une et l'autre de ces familles, l'ovule naît avec la même apparence, et se recouvre d'un seul tégument; mais il effectue son mouvement d'incurvation en sens contraire dans ces deux familles. Le sac embryonnaire et l'embryon s'y organisent de la même façon, et l'étude de la graine montre de nouveaux points de contact entre les deux groupes. Dans le *Stachys sylvatica*, comme dans le *Borrago officinalis*, elle offre une simple assise tégumentaire et nulle trace d'albumen ; le *Salvia Sclarea* présente une zone tégumentaire formée de deux assises

(1) Pl. 8, fig. 5', *a*.
(2) Pl. 8, fig. 5', *b*.
(3) Pl. 8, fig. 5', *c*, *d*.
(4) Pl. 8, fig. 5', *e*, *e'*.
(5) Pl. 8, fig. 5', *f*, *g*.

parfaitement distinctes au point de vue morphologique, mais nullement comparables à un albumen ; celui-ci se retrouve, toutefois bien rudimentaire, dans diverses espèces de *Lamium*, qui offrent ainsi un caractère semblable à celui qui nous a été présenté par certaines Borraginées, telles que l'*Anchusa italica* ou le *Cynoglossum officinale*.

Dans ces deux familles, l'embryon prend un grand développement, ce qui est d'ailleurs en rapport avec l'absence fréquente de l'albumen ; ses éléments constitutifs sont presque identiques dans ces deux groupes, que l'on compare leur forme, leur contenu, etc.



Avec les Labiées se termine l'exposé des faits dont l'ensemble constitue le développement de l'ovule et de la graine dans les quatre familles comprises dans le cadre de ce mémoire. Je dois donc résumer ici les principaux caractères qui m'ont été fournis par ces études, et examiner d'une façon sommaire quelles sont les considérations générales qu'on en peut tirer.

Ainsi que je le disais dans la première partie, c'est constamment sous la forme d'un mamelon très-peu proéminent qu'apparaît l'ovule, aussi bien dans les Solanacées que dans les Scrofularinées, aussi bien dans les Borraginées que dans les Labiées. Ce mamelon, de structure d'abord parfaitement simple et homogène, nous a montré bientôt une modification importante, consistant dans l'adjonction d'un tégument propre qui, d'abord simple bourrelet, ne tarde pas à former une sorte de tunique. Celle-ci, grandissant vers son bord libre, vient enfin gagner la partie extrême du nucelle, lequel ne tarde pas à être complétement masqué lors du rapprochement des lèvres ou des bords de l'ouverture micropylaire. Bien que généralement connus au point de vue morphologique, les faits relatifs à ces premiers âges demandaient encore à être observés sous le rapport anatomique.

La masse générale de l'ovule s'est en même temps recourbée, et j'ai trop insisté sur le sens de ce mouvement pour avoir à y

revenir maintenant ; je rappelle seulement que, dans les Borraginées, l'ovule se recourbe vers le haut de la loge carpellaire, tandis que dans les autres plantes c'est en sens inverse que s'opère son incurvation. De là résulte une grande différence dans la position du raphé; mais l'histoire de ce dernier organe me semble si importante et si peu connue, que j'ai dû constamment la réserver, sous peine de me voir entraîné bien au delà des limites des présentes études ; elle mérite certainement une attention toute particulière tant au point de vue organogénique qu'au point de vue anatomique, et j'espère qu'il me sera donné de pouvoir y consacrer bientôt des observations spéciales.

L'ovule a pris, ou peu s'en faut, sa forme dernière ; son caractère morphologique est connu ; reste à examiner les phénomènes qui vont se passer dans son intérieur. Dans tous les types que j'ai passés en revue, on a pu voir qu'en ce moment de son existence l'ovule était une masse cellulaire continue et bordée par la zone à éléments convexes ou déprimés du tégument ; mais vers l'époque où nous le considérons, le sac embryonnaire y apparaît, et se développe en un point et avec des caractères sur lesquels je ne crois plus devoir insister. Les formes de ce sac sont parfois des plus bizarres, et, sous ce rapport, les Scrofularinées tiennent le premier rang. D'une façon générale, on peut le considérer comme formé par une mince membrane transparente, et renfermant un liquide finement granuleux et coagulable par les acides.

Le sac étant constitué et ayant refoulé le tissu du nucelle qui s'est progressivement résorbé, la fécondation s'opère ; c'est consécutivement à ce phénomène qu'on voit apparaître, vers la région micropylaire du sac, une petite masse celluleuse qui représente l'embryon segmenté. L'embryon reste peu dans cet état plus ou moins sphéroïdal, et bientôt on le voit, chez tous les végétaux que j'ai examinés, se conformer en une sorte de cœur, dont la pointe serait représentée par la radicule. Puis la forme générale de l'embryon s'allonge ; les cotylédons se constituent, demeurant séparés par leur scissure plus ou moins profonde. Le contenu du sac s'organise en même temps

pour former l'albumen avec ses grandes cellules polyédriques, à parois minces, à contenu granulifère ; l'ovule a achevé son développement pour revêtir peu à peu les caractères qui en font une graine. Celle-ci doit donc seule nous occuper maintenant.

Dans les quatre familles sur lesquelles ont porté mes observations, je n'ai eu, pour ainsi dire, à signaler aucun caractère différentiel réellement saillant pour tout ce qui a trait à l'évolution de l'ovule proprement dit et à la formation de ses diverses parties ; mais les descriptions précédentes ont montré que les mêmes analogies ne se retrouvaient plus dans la structure de la graine : chez les Scrofularinées et les Solanacées, nous avons trouvé un albumen généralement épais et entourant l'embryon ; dans les Borraginées et les Labiées, au contraire, l'albumen est nul, ou représenté par une simple lamelle formée au maximum de 3 ou 4 assises de cellules. Quant à la direction de l'embryon, je crois devoir faire remarquer combien est loin d'être absolument exacte cette distinction, qui veut que les Solanacées aient l'embryon courbe et les Scrofularinées l'embryon droit, car celui du Tabac présente à peu près cette dernière apparence, tandis que celui de certaines Véroniques est très-sensiblement arqué.

Est-il besoin de revenir ici sur le test de la graine, sur les diverses apparences qu'il peut présenter, et sur l'origine de ses marques extérieures ? Je ne le pense pas, et préfère me borner aux détails que j'ai présentés dans le cours de ce travail, et que je devrais répéter entièrement, si je voulais donner ici encore une idée exacte de l'ensemble de ces phénomènes.

La solution des diverses questions relatives au développement de l'ovule et de la graine, questions si délicates au point de vue de la physiologie générale, était entourée de difficultés pratiques : chacun sait ce que sont les recherches organogéniques, quelles minutieuses précautions elles comportent dans leurs détails, quelle constance elles exigent dans les observations qui en forment la base. Mon but serait atteint s'il eût suffi de laborieuses études pour remplir le cadre que je m'étais tracé : il n'en est pas ainsi ; mais j'espère que d'autres observateurs, s'engageant dans la même voie, viendront compléter mes recherches.

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE 1.

VERONICA BUXBAUMII.

. État du pistil au moment où les ovules apparaissent sur le placenta.

2. Les mamelons ovulaires s'organisant à la surface du placenta.

3. Ovules sur lesquels le tégument commence à se développer.

4. Ovule dont le nucelle fait encore une saillie très-notable hors de l'ouverture micropylaire.

5. Ovule s'infléchissant, tandis que son tégument s'accroît.

6. Le même ovule sectionné de façon à montrer le sac piriforme.

7. Le sac se développe de plus en plus; la fécondation a eu lieu et l'embryon apparaît comme une petite masse celluleuse.

8. Coupe du même ovule.

9. Embryon de 8 isolé et très-grossi.

10. Ovule déchiré et montrant le volume du sac.

10'. Le sac embryonnaire isolé.

11. Coupe de l'ovule observé à cet âge.

12. Son embryon isolé.

13. Profil de l'ovule au moment où le nucelle achève de disparaître devant les progrès du sac.

14. Coupe du même ovule : le contenu du sac est presque entièrement organisé en albumen.

15. Embryon de la figure 14 isolé.

16, 16', 17. Vues et coupe de l'ovule pris à son dernier état de développement.

18, 19. Les deux facés de la graine : on voit les cannelures qui sillonnent sa surface et côte recourbée située dans le prolongement du funicule.

20. Coupe de la graine : *a*, assise de cellules carrées formant le test séminal; *b*, masse de l'albumen; *c*, embryon; *d*, cellules allongées formant le tissu du support recourbé.

21. Embryon de la figure 20 isolé et grossi.

22, 23. Disposition des graines dans le fruit.

PLANCHE 2.

VERONICA HEDERÆFOLIA. — V. OFFICINALIS, ETC.

Fig. 1-15. — *Veronica hederæfolia.*

1. Ovaire sectionné et montrant les mamelons nucellaires sur le placenta.

2. Coupe de l'ovaire au moment où les ovules qu'il renferme commencent à se secouvrir de leur tégument.

3. Un des ovules de la figure 2 isolé.

4, 5. Développement du tégument ovulaire.

6. Aspect de l'ovaire à cette époque.

7. Ovule ayant son micropyle dans le voisinage du point d'insertion ; il a été sectionné de façon à montrer la genèse du sac embryonnaire.

8. Le tissu papilleux ou mousseux commence à se former vers le pied de l'ovule, puis gagne en étendue à la surface de celui-ci.

9, 10. Développement du tissu papilleux à l'extérieur et du sac à l'intérieur.

11. Le tissu papilleux décroît en étendue.

12. Coupe de l'ovule à cet âge.

13. Coupe de l'ovule à l'époque où le tissu papilleux ne dépasse plus guère le point d'insertion de l'ovule.

14. Graine.

15. Coupe transversale de la graine.

Fig. 16, 17. — *Veronica officinalis.*

16, 17. Développement de l'ovule et du sac embryonnaire.

Fig. 18. — *Veronica agrestis.*

18. L'ovule présente une sorte de bec *a*, dans la région opposée au micropyle.

Fig. 19, 20. — *Veronica Chamædrys.*

19, 20. Ovule recouvert de son tégument.

Fig. 21, 22. — *Veronica scutellata.*

21. État de l'ovule après la formation du sac : on voit à sa surface un phénomène comparable à celui qui a été observé dans le *V. agrestis.*

22. Forme dernière de la graine, fendue pour montrer la position de l'embryon.

PLANCHE 3.

VERONICA ARVENSIS. — ANTIRRHINUM MAJUS. — DIGITALIS PURPUREA.

Fig. 1-13. — *Veronica arvensis.*

1. L'ovule a achevé de s'envelopper de son tégument et présente déjà sensiblement la forme anatrope.

2. On voit une petite proéminence *a* se dessiner dans la région de l'ovule opposée au funicule.

3. Cette sorte de bec s'accentue ; on aperçoit par transparence le sac embryonnaire se dessinant à l'intérieur du nucelle.

4. Coupe longitudinale de l'ovule précédent montrant que non-seulement il y a eu constitution du sac, mais encore fécondation et formation de l'embryon dans sa cavité.

5, 6. Le sac refoule le nucelle, tandis que l'embryon se développe davantage.

7, 8. L'embryon devient cordiforme. On remarque sur l'ovule représenté fig. 7,

que le bec *a* commence à se relier au funicule par une sorte de côte légèrement saillante et d'apparence raphéenne.

9. Ovule vu par sa face dorsale et montrant la côte saillante et formée de cellules allongées.

10, 11. Vues de la graine sur lesquelles on remarque l'élargissement de la côte saillante vers son extrémité.

12. Coupe longitudinale de la graine précédente.

13. Coupe très-grossie de la graine : *a*, cellules carrées du test dont la paroi extérieure porte une cuticule très-épaisse ; *b*, l'albumen charnu ; *c*, l'embryon.

Fig. 14-30. — *Antirrhinum majus*.

14, 15. Premiers états de l'ovaire et des placentas.

16, 17. Le pistil revêt la forme d'une pyramide à sommet bifide, tandis que les placentas se constituent.

18. Coupe longitudinale d'un ovaire pris à l'âge suivant : sur les placentas apparaissent les mamelons ovulaires.

19. L'un de ces mamelons isolé et très-fortement grossi.

20, 21. Développement du tégument.

22. L'ovule présente son micropyle dans le voisinage du point d'insertion.

23. Ovule plus âgé, montrant par transparence le sac qui se forme dans la masse nucellaire.

24. Coupe d'un ovule pris à l'âge suivant et montrant la genèse de l'embryon dans la portion micropylaire du sac.

25. Ovule plus âgé commençant à prendre une forme prismatique.

26. Le même, coupé longitudinalement ; on y voit l'embryon cordiforme.

27. La surface de l'ovule se relève de côtes saillantes.

28. Coupe de cet ovule montrant l'embryon en voie d'accroissement.

29. Coupe longitudinale de la graine.

30. Coupe transversale de la graine.

Fig. 31-33. — *Digitalis purpurea*.

31, 32. Développement du tégument ovulaire.

33. État de l'ovaire au moment où le nucelle a cessé de faire saillie hors du micropyle.

PLANCHE 4.

EUPHRASIA OFFICINALIS. — VERBASCUM THAPSUS. — PAULOWNIA IMPERIALIS ; NICOTIANA TABACUM.

Fig. 1-8. — *Euphrasia officinalis*.

1. Aspect de l'ovule au moment où son tégument recouvre presque entièrement le nucelle ; *m*, micropyle.

2. La saillie nucellaire ne se montre plus par cette ouverture.

2. L'ovule a achevé son mouvement d'incurvation; on aperçoit par transparence le sac embryonnaire qui commence à se former.

3. Ovule fendu longitudinalement pour montrer l'embryon et son suspenseur dans la cavité du sac.

4. État de l'ovaire en ce moment.

5. Figure montrant l'accroissement de l'embryon et sa forme générale.

6. Coupe oblique de la graine : *e*, embryon; *a*, albumen.

7. Coupe transversale de la graine : *t*, test; *a*, albumen; *f*, fossette dans laquelle est enchâssé l'embryon; *r*, raphé.

8. Vue du fruit.

Fig. 9-13. — *Verbascum Thapsus.*

9. Apparition du tégument ovulaire.

10. Le micropyle ne laisse plus voir qu'une très-faible portion du nucelle.

11. L'ovule a achevé de se rapprocher du point d'insertion.

12. Le sac embryonnaire s'est développé et l'on aperçoit l'embryon attaché à son suspenseur.

13. Vue de l'ovaire à ce moment.

Fig. 14-16. — *Paulownia imperialis.*

14. Premier état de l'ovule.

15, 16. Apparition et développement de son tégument.

Fig. 17-32. — *Nicotiana Tabacum.*

17. État de l'ovaire au moment où les ovules commencent à se montrer sur le placenta.

18. Le même ovaire fendu longitudinalement.

19. Ovules à l'état de mamelons celluleux, très-grossis.

20. Développement du tégument ovulaire.

21. Le tégument, ayant achevé son développement, recouvre presque totalement le nucelle dont on ne voit plus qu'une très-faible portion par le micropyle *m*.

22. État de l'ovaire au moment de ces dernières observations; la colonne stylaire commence à se constituer.

23. Le sommet de l'ovule s'est rapproché du hile et les bords du micropyle se sont resserrés.

24. L'ovaire de cette époque ouvert longitudinalement pour montrer la disposition des ovules sur le placenta.

25. L'ovule fendu longitudinalement : *s*, le sac.

26. La fécondation s'étant opérée, on voit l'embryon à l'extrémité de son suspenseur.

27. Le sac s'est développé en refoulant le nucelle; l'embryon devient cordiforme.

28. Le nucelle a presque entièrement disparu; les cotylédons, s'allongeant, commencent à être séparés par une scissure.

29. L'embryon précédent isolé.

30. Vue extérieure de la graine.

31, 32. Coupes longitudinale et transversale de la graine : *a*, cellules carrées formant le test de la graine; *b*, l'albumen; *e*, l'embryon.

PLANCHE 5.

NICOTIANA TABACUM (*suite*). — NICOTIANA RUSTICA. — DATURA STRAMONIUM.
BORRAGO OFFICINALIS.

Fig. 1-2. — *Nicotiana Tabacum.*

1, 2. Coupes longitudinale et transversale de la graine : *a*, test séminal; *b*, l'albumen; *c*, l'embryon.

Fig. 3-5. — *Nicotiana rustica.*

3. Aspect extérieur de la graine.
4. Coupe longitudinale de la graine montrant l'embryon légèrement courbe, entouré par l'albumen.
5. Segment de la graine présentant les grandes cellules carrées du tégument.

Fig. 6-8. — *Datura Stramonium.*

6. Aspect de l'ovule au moment où le micropyle est porté dans le voisinage de l'attache au funicule.
7. Graine avec son embryon recourbé.
8. Segment de la figure 7 très-grossi, et montrant les cellules carrées du test formant, comme dans les espèces précédentes, une seule assise.

Fig. 9-20. — *Borrago officinalis.*

9. Aspect de l'ovaire au début des observations.
10. Le même, coupé pour montrer les ovules *o* apparaissant sous forme de mamelons à la base des placentas.
11. Les mêmes mamelons commencent à s'infléchir vers le sommet de la loge.
12. Apparition du tégument autour du tubercule nucellaire.
13. Progrès rapides de ce tégument, laissant encore voir une petite saillie nucellaire hors du micropyle.
14. L'ouverture micropylaire rapprochant ses bords de plus en plus.
15. Un ovule fendu pour montrer la genèse du sac embryonnaire *s*.
16. On voit apparaître, dans la région micropylaire du sac, une petite masse qui représente l'embryon segmenté.
17. L'embryon grandit; des stries et des cannelures se forment à la surface de l'achaine.
18. Aspect présenté par le fruit à l'âge suivant.
19, 20. L'embryon s'étend de plus en plus dans la cavité du sac.

PLANCHE 6.

BORRAGO OFFICINALIS (*suite*). — LAMIUM MACULATUM. — MELISSA OFFICINALIS.

Fig. 1-3. — *Borrago officinalis*.

1. L'embryon remplit la cavité du sac : *s*, scissure intercotylédonaire.
2. Coupe transversale du fruit et de la graine.
3. Embryon isolé.

Fig. 4-13. — *Lamium maculatum*.

4. État de l'ovaire au moment de l'apparition des ovules.
5. Le même ovaire fendu pour montrer les ovules sous leur premier état de mamelons.
6. Les mamelons ovulaires s'allongent.
7. Le tégument embrasse la région basilaire de l'ovule.
8. Le mouvement d'incurvation de l'ovule s'accentue de plus en plus.
9. Coupe de l'ovule au moment de la formation du sac.
10. État de l'ovaire à cette époque.
11. La fécondation s'étant opérée, on voit dans la région micropylaire du sac la petite sphérule embryonnaire attachée à un suspenseur assez court.
12. Vue de l'ovaire après le moment de la fécondation.
13. Un des ovules renfermés dans cet ovaire.

Fig. 14-19. — *Melissa officinalis*.

14. Vue extérieure de l'ovule après la fécondation.
15. Ovule coupé longitudinalement pour montrer l'embryon entouré par l'albumen transitoire.
16. Ovule plus âgé.
17. Coupe du même ovule montrant les progrès du développement de l'embryon et la disparition progressive de l'albumen.
18. L'embryon occupant presque toute la capacité du sac.
19. La zone tégumentaire incisée montre l'embryon situé immédiatement au-dessous.

PLANCHE 7.

ANCHUSA ITALICA. — CYNOGLOSSUM OFFICINALE.

Fig. A-A″, 1-2″. — *Anchusa italica*.

A. Fruit de grandeur naturelle.

A′. Le fruit précédent grossi.

A″. Même fruit, moins amplifié qu'en A′, et montrant l'arête vive ou ligne de relief qui existe vers la région ventrale.

1. Coupe transversale, grossie en *b*, menée par la portion moyenne (*a*) de l'achaine; *scl*, tissu scléreux se relevant par places pour former les lignes de relief de la surface; *fa*, petits faisceaux fibro-vasculaires placés ordinairement sur les côtes; *co*, les

masses cotylédonaires; *c* et *d*, indication des points où ont été pris les segments, vus à un grossissement plus considérable en 1′ et 1″. — ($\frac{9}{1}$)

1′. Coupe de 1 *c* amplifiée : *ep*, cellules épidermiques à parois fort minces et à lignes de séparation peu visibles; *scl*, épaisses cellules ponctuées constituant la couche scléreuse qui forme au fruit une résistante carapace; elles sont dirigées perpendiculairement au grand axe de l'achaine; *l*, lame ou couche de cellules aplaties que limite, vers l'intérieur, une assise de cellules tabulaires endocarpiennes, dans lesquelles se trouvent de nombreux granules teintés en vert jaunâtre; dans l'épaisseur de cette couche sont plusieurs faisceaux de fibres ténues (*f*); *al*, mince albumen que représente une membrane constituée par des cellules aplaties, et limitée du côté du péricarpe par une assise tégumentaire formée de cellules tabulaires; *co*, tissu cotylédonaire qu'entoure et limite une ligne de cellules rectangulaires représentant l'enveloppe épidermique; dans toutes ces cellules sont des granules qui ne bleuissent plus par l'iode et sont d'ailleurs insolubles dans l'éther. — ($\frac{300}{1}$)

1″. Autre coupe de 1 (segment *d*); elle comprend l'une des régions du fruit relevées en arête : *ep*, assise épidermique; *scl*, les cellules scléreuses; *pa*, utricules parenchymateuses; *fa*, faisceaux vasculaires; *al*, couche albumineuse; *co*, cellules du tissu cotylédonaire.

2. Coupe longitudinale de A : *p*, support de l'achaine reçu dans une cavité correspondante du réceptacle de la fleur.

2′. Coupe transversale de ce pied dont la structure est celluleuse et homogène.— ($\frac{10}{1}$)

2″. Coupe plus grossie d'un fragment de 2′, montrant la forme de ses cellules et les gros granules huileux qui y sont contenus.

Fig. B-B″, 3-4. — *Cynoglossum officinale.*

B et B′. Fruit vu par les faces dorsale et ventrale.

B″. Moitié supérieure de B′ grossie. — ($\frac{7}{1}$)

3. Tranche du fruit plus grossie : *scl*, tissu scléreux relevé en pointes épineuses *sp*, spermoderme; *co*, cotylédons charnus.

3′. Segment amplifié de 3 : *scl*, cellules épaisses et ponctuées formant l'enveloppe scléreuse; *f*, fibres granulifères; *en*, assise de cellules endocarpiennes; *al*, l'albumen membraniforme; *co*, cellules des cotylédons avec grains ne bleuissant plus par l'iode, et ne se dissolvant ni dans l'éther, ni dans le sulfure de carbone. — ($\frac{320}{1}$)

3″. Coupe longitudinale de la portion moyenne de l'achaine.

4. Coupe longitudinale et grossie du fruit : *p*, le pied; *scl*, l'enveloppe scléreuse.

PLANCHE 8.

Labiées.

Fig. A-A″, 1-1‴. — *Lamium maculatum.*

A. Fruit grossi. — ($\frac{4}{1}$)

A′. Coupe longitudinale du fruit montrant l'embryon et les dimensions relatives de ses parties.

A″. L'embryon isolé.

1. Coupe transversale de l'achaine pratiquée en A 1, au niveau de la radicule de l'embryon.

1′ et 1″. Coupes menées selon A1′ et A1″, à la hauteur des cotylédons.

1‴. Coupe transversale plus grossie d'une portion de 1″ : *a*, assise de cellules allongées et granulifères, à face externe convexe, limitant le tissu de l'achaine; *b*, parenchyme à cellules polyédriques et plus minces formant la zone moyenne de celui-ci; *c*, assise tabulaire, verte ou brunâtre, selon l'âge, limitant intérieurement le fruit; *d*, assise tégumentaire de la graine formée de cellules rectangulaires, à parois légèrement épaissies, généralement brunâtres; *e*, tissu parenchymateux de l'albumen lamelleux; *f*, assise épidermique des cotylédons; *g*, leur tissu formé de cellules polyédriques, larges et granulifères. — $(\frac{350}{1})$

Fig. B, 2-2″. — *Salvia Sclarea.*

B. Achaine de grandeur naturelle en B*a*, grossi en B*b*. — $(\frac{10}{1})$

2. Coupe transversale selon B2.

2′. Coupe plus grossie d'un segment de 2 : *a*, assise de cellules allongées, épaisses et faiblement granulifères, formant la zone externe du fruit; *b*, parenchyme de l'achaine; *c d*, couche tégumentaire de la graine formée de deux assises, la première (*c*) composée d'utricules épaisses et à surface celluleuse, l'autre (*d*) de cellules moins épaisses et à contour plus sinueux, tenant la place de l'albumen; *e*, assise épidermique des cotylédons; *f*, tissu des cotylédons. — $(\frac{300}{1})$

2″. Quelques cellules superficielles de la couche tégumentaire vues à plat et montrant leur surface aréolée ou plutôt celluleuse.

Fig. C, 3-3″. — *Melissa officinalis.*

C. Fruit à surface lisse, très-grossi. — $(\frac{14}{1})$

3. Coupe transversale du fruit pratiquée selon C 3, et montrant le développement de l'embryon.

3′. Coupe transversale plus grossie, pratiquée en C 3 au niveau des cotylédons : *a*, cellules à contenu huileux et se déchirant facilement, qui limitent l'achaine en dehors; *b*, assise de cellules arrondies, minces et vides; *c*, cellules rectangulaires et granulifères; *d*, la zone tégumentaire de la graine; *e*, épiderme des cotylédons; *f*, leur parenchyme. — $(\frac{300}{1})$

3″. Coupe analogue, mais pratiquée vers la radicule en C 3″; elle diffère de la précédente par l'existence d'une lamelle tégumentaire plus épaisse *d*.

Fig. D, 4-4′. — *Stachys sylvatica.*

D. L'achaine grossi.

4 *b*. Coupe transversale $(\frac{40}{1})$ de l'achaine, de grandeur naturelle en 4 *a*.

4′. Coupe plus grossie d'un segment de 4 : *a*, cellules quadrangulaires formant la couche externe du fruit; *b*, son parenchyme constitué par plusieurs assises de cellules; *c*, couche de cellules carrées, épaisses et aréolées; *d*, zone tégumentaire de la graine; *e*, assise épidermique des cotylédons; *f*, tiss c — $(\frac{300}{1})$

Fig. E, 5-5'. — *Scutellaria Columnæ*.

E. Fruit grossi et montrant sa surface rugueuse et mamelonnée.

5 *b*. Coupe transversale de l'achaine ($\frac{35}{1}$), de grandeur naturelle en 5 *a*.

5'. Coupe plus grossie d'un segment de 5 : *a*, assise de cellules carrées bordant l'achaine et portant quelques poils courts; *b*, parenchyme de la zone moyenne du fruit; *c* et *d*, les deux assises d'utricules carrées limitant intérieurement le fruit; *e e'*, lamelle albumineuse limitée par une assise de cellules quadrangulaires formant le tégument de la graine; *f*, épiderme cotylédonaire; *g*, parenchyme des cotylédons. — ($\frac{300}{1}$)

SUR

LA COLORATION ET LE VERDISSEMENT

DU NEOTTIA NIDUS-AVIS

Par M. Ed. PRILLIEUX.

Le *Neottia Nidus-avis* est une Orchidée que l'on trouve en assez grande abondance au milieu des débris de feuilles, dans les bois des environs de Paris, et qui frappe par la singularité de son aspect. Toutes ses parties, fleurs, feuilles et hampe, sont d'une couleur uniforme brun fauve, et elle ne paraît pas contenir trace de matière verte. On sait que dans un certain nombre de plantes à feuilles rougeâtres, dans les variétés d'arbres à feuillage pourpre, par exemple, la chlorophylle existe comme dans les plantes vertes, seulement la couleur verte en est en partie masquée par un liquide rouge que contiennent les cellules. Le microscope permet de constater ce fait avec la plus grande facilité. Dans le *N. Nidus-avis* il n'y a rien de pareil, et si l'on cherche à voir à quoi est due la coloration de la plante, on reconnaît que le contenu liquide des cellules est incolore, et que la couleur brune est due à de nombreux et très-fins corpuscules bruns qui y sont disséminés, et sur la nature desquels nous aurons à revenir bientôt. L'examen microscopique ne permet pas d'y apercevoir la plus faible quantité de matière verte dans la plante vivante.

On ne connaît qu'un très-petit nombre de végétaux phanérogames qui se montrent ainsi entièrement dépourvus de chlorophylle, et encore convient-il d'ajouter que, parmi ceux-ci, presque tous, comme la *Cuscute*, le *Cytinus hypocistis*, le *Monotropa hypopitys,* sont parasites, et tirent par conséquent les matériaux nécessaires à leur nutrition tout formés des plantes munies de

feuilles vertes sur lesquelles ils sont fixés, et aux dépens desquels ils vivent. Pour le *N. Nidus-avis* il n'en est pas ainsi ; toutes les recherches faites pour constater l'adhérence de ses racines avec celles d'autres plantes ont été vaines, et il faut bien reconnaître, avec les observateurs consciencieux comme M. Thilo Irmisch (1), qui se sont occupés de ce sujet, que la plante n'est pas parasite.

Une récente découverte faite inopinément en Allemagne par M. Wiesner a paru jeter sur la manière de vivre du *N. Nidus-avis* un jour nouveau. Plongeant dans l'alcool des pieds de cette plante qu'il voulait conserver, M. Wiesner a été fort surpris de les voir, au bout de peu d'instants, se colorer en vert, puis abandonner au liquide leur couleur. M. Wiesner fit d'abord connaître sa découverte par une note de quelques lignes insérée dans le *Journal botanique* (2), puis il publia sur ce sujet un mémoire plus étendu, où il étudia non-seulement les conditions dans lesquelles apparaît la matière verte, mais encore la structure des corpuscules bruns auxquels est due la coloration fauve de la plante (3).

Selon lui, ces petits corps bruns, un peu aplatis latéralement, ont généralement la forme de fuseaux terminés aux extrémités par deux pointes aiguës, et il les considère comme tout à fait analogues aux corpuscules qui ont été observés et décrits bien des fois par H. Mohl, MM. Trécul, Weiss, Kraus, et autres, dans divers fruits rouges. Ils sont suspendus dans le suc cellulaire, ou, ce qui est le cas le plus fréquent, recouvrent le nucléus et pénètrent même dans son intérieur (4). Ces petits corps pointus sont bruns quand on les observe directement ; quand on les traite par l'alcool, l'éther et la benzine, ils se colorent en vert, puis se

(1) Thilo Irmisch, *Beiträge zur Biologie und Morphologie der Orchiden.* Voyez aussi mon travail sur le mode de végétation du *Neottia Nidus-avis*, dans les *Ann. des sc. nat.*, 4e série, t. V, p. 280.

(2) *Botanische Zeitung*, 1871, p. 610.

(3) Julius Wiesner, *Untersuchungen über die Farbstoffe einiger für Chlorophyllfrei gehaltenen Phanerogamen*, in Pringsheim's *Jahrbücher für. wiss. Bot.*, t. VIII, p. 575 et suiv., pl. xxxix.

(4) *Loc. cit.*, p. 578.

dissolvent. De la discussion du mode d'action de divers réactifs sur le *N. Nidus-avis*, M. Wiesner tire cette conclusion : que ceux-là seuls qui sont des dissolvants pour la chlorophylle produisent le verdissement du *N. Nidus-avis*, et que par conséquent la chlorophylle doit exister comme telle dans la plante et y être mélangée avec une substance qui est moins soluble qu'elle dans les mêmes dissolvants ou même y est insoluble (1).

Cette conséquence me paraît, je l'avoue, difficile à comprendre et à admettre sans autre preuve. Que la dissolution de la matière qui masque la chlorophylle fasse apparaître la couleur verte dans les organes, il n'y aurait à cela rien que de naturel ; mais que ce soit précisément le contraire qui ait lieu, c'est là, je l'avoue, un phénomène que je ne puis m'expliquer. Je reviendrai du reste bientôt sur tous ces points, sur lesquels mes observations ne concordent pas avec celles de M. Wiesner.

Quant à la formation des corpuscules colorants, M. Wiesner reconnaît lui-même que ses observations sont peu satisfaisantes, et il se contente d'affirmer que « les corpuscules du pigment se développent par individualisation de certaines parties du plasma qui paraissent avoir pendant quelque temps une croissance spontanée, surtout aux extrémités » (2).

Ces recherches de M. Wiesner sont les seules qui aient été publiées, à ma connaissance, sur ce sujet. J'ai cru utile de reprendre la question et de la soumettre à un nouvel examen, espérant arriver à m'assurer expérimentalement si le *N. Nidus-avis* contient réellement de la chlorophylle, en recherchant s'il réduit comme les plantes vertes l'acide carbonique sous l'influence de la lumière. En outre, j'ai été amené à étudier à nouveau avec détail la structure et le mode de formation de la matière brune que contient la plante vivante.

Quand on examine au microscope un pétale de fleur de *N. Nidus-avis*, ou toute autre partie de la plante, on voit que la coloration brune est due à de nombreux corpuscules bruns, généralement très-allongés, qui sont disséminés sans ordre mani-

(1) *Loc. cit.*, p. 581.
(2) *Loc. cit.*, p. 579.

feste dans les cellules ou y sont groupés autour du nucléus. Ils sont très-petits; leur plus grande longueur ne dépasse guère 10 à 15 millièmes de millimètre. En les observant avec un grossissement suffisant, je me suis convaincu que la description qu'en a donnée M. Wiesner n'est pas exacte, et que c'est à tort qu'il les a considérés comme tout semblables aux corps colorés fusiformes du *Solanum pseudocapsicum* qu'il prend comme exemple de préférence, parce qu'ils ont été récemment étudiés avec détail par M. Kraus (1). Les corpuscules bruns du *N. Nidus-avis* ont une forme cristalline: ce sont de petites paillettes le plus souvent triangulaires, à angles plus ou moins aigus (fig. 1, 2, 3, 4, 7); souvent ces cristaux présentent un angle rentrant, comme si plusieurs s'étaient accolés deux à deux (fig. 2); d'autres fois ils forment des paillettes quadrangulaires (fig. 3, 10); souvent ils sont tellement allongés et étroits, qu'ils se rapprochent beaucoup de la forme aciculaire (fig. 1, 7). Ces corps cristallins sont de nature protéique; ils sont analogues aux cristalloïdes qui ont été maintes fois observés et décrits dans les graines; ils offrent dans leur forme cristalline cette propriété que leurs angles sont très-variables; ils sont capables de se gonfler plus ou moins, selon la composition du liquide où ils sont placés, et par suite leurs angles se montrent tantôt plus, tantôt moins aigus, leurs faces plus ou moins régulièrement planes. On voit dans la figure 7 de ces cristalloïdes très-aigus; ceux représentés fig. 3 le sont beaucoup moins: cette forme est celle qui se présente le plus communément. Enfin on voit, fig. 13, des cristalloïdes plus gonflés et à angles encore moins aigus.

Ces cristalloïdes se gonflent outre mesure, et perdent leur forme cristalline aussitôt que le contenu liquide des cellules est notablement altéré. Sur une préparation on voit, dans les cellules qui ont été ouvertes et où l'eau pénètre, de petites masses à peu près rondes et finement granuleuses (fig. 8) occuper la place des cristalloïdes.

On peut voir très-bien s'opérer sous ses yeux la déformation

(1) Gr. Kraus, *Die Entstehung der Farbstoffkörper, in den Beeren von* Solanum pseudocapsicum, (in Pringsheim's *Jahrbücher für wiss. Bot.*, t. VIII, p. 131 et suiv.).

des cristalloïdes à l'aide de la potasse. Quand on a sous le microscope une préparation convenable où les cristalloïdes sont bien formés et faciles à observer, on ajoute une goutte de solution de potasse sur le bord du petit verre qui recouvre la préparation, et l'on ne cesse d'observer. Bientôt la liqueur alcaline pénètre jusqu'à la préparation et gagne successivement d'une cellule à l'autre : quand elle atteint le champ du microscope, on voit les cristalloïdes changer de forme brusquement les uns après les autres ; leurs angles saillants rentrent tout à coup dans la masse, qui se renfle, et, au lieu d'un cristal, on n'a plus qu'une sorte de pelote arrondie de forme peu régulière.

Beaucoup de corps qui agissent énergiquement sur les cellules, et qui, en les tuant certainement, modifient complétement la constitution de leur contenu, déforment ainsi les cristalloïdes et, de plus, altèrent d'une façon très-remarquable la substance dont ils sont composés : ils la colorent en vert. C'est à cette modification des cristaux protéiques bruns qu'est due l'apparition de la couleur verte observée par M. Wiesner sur les pieds de *N. Nidus-avis* plongés dans l'alcool ; mais M. Wiesner a eu tort d'attribuer aux dissolvants de la chlorophylle seuls, tels que l'éther, l'alcool et la benzine, la propriété de colorer ces plantes en vert : les acides, tels que l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique, l'acide nitrique, les alcalis même, comme la potasse, la possèdent également. Bien plus, ce ne sont pas seulement ces corps dont les propriétés chimiques sont si opposées qui agissent ainsi, la chaleur a un effet identique sur les cristalloïdes, elle les déforme et les colore en vert instantanément : ainsi, quand on plonge une tige de *N. Nidus-avis* dans l'eau bouillante, on la voit verdir immédiatement. Il est donc impossible d'admettre avec M. Wiesner que la coloration de la plante en vert est due à la dissolution de la chlorophylle qu'elle contenait.

Si l'on admet, par hypothèse, que les paillettes cristallines brunes de la plante vivante contiennent déjà la matière verte toute formée et masquée seulement par un autre pigment, la supposition la plus vraisemblable à faire touchant le verdissement est que ce pigment est très-facilement altérable, et que les

causes diverses qui modifient les formes et la structure des cristalloïdes qui les gonflent et les changent en petites boules, le rendent soluble ou le détruisent. Il s'écoule alors, disparaît, et la chlorophylle, voilée jusque-là, apparaît.

Du reste les deux effets produits par les divers agents sur les paillettes brunes, à savoir, d'une part le gonflement des cristaux protéiques, de l'autre l'apparition de la couleur verte, ne sont pas toujours absolument simultanés. En traitant par l'alcool ou l'éther des cristalloïdes pris dans des fleurs un peu avancées, j'ai vu plusieurs fois la coloration en vert des cristaux précéder leur déformation (fig. 10); au contraire, tandis que la potasse altère immédiatement la forme des cristaux, elle ne verdit pas tout d'abord les masses sphériques qui en proviennent : la couleur verte n'y apparaît qu'au bout de quelque temps. De même, tandis que l'action de l'eau bouillante déforme les cristalloïdes et les verdit à l'instant même, l'action de la gelée, tout en leur faisant perdre la forme cristalline (fig. 9), n'y fait pas apparaître immédiatement la couleur verte.

Quand l'agent qui produit la coloration en vert est un dissolvant de la chlorophylle, ou que la plante verdie par une autre cause, par la chaleur par exemple, est plongée dans un dissolvant de la chlorophylle, on voit la liqueur se colorer en vert, et l'on y peut aisément constater les propriétés optiques si caractéristiques des solutions de chlorophylle. Non-seulement j'ai fait apparaître dans une solution alcoolique de cette matière verte une lumière de fluorescence d'un beau rouge en projetant sur la surface du liquide un pinceau de lumière solaire concentrée à l'aide d'une loupe, mais j'ai pu y observer avec le spectroscope les principales bandes d'absorption du spectre de chlorophylle (fig. 21 et 22): on voyait nettement les bandes I, II et IV à la place qu'elles occupent d'ordinaire, et avec des intensités relatives pareilles à celles qu'offrait le spectre d'une solution alcoolique de chlorophylle d'Épinard que j'observais parallèlement (fig. 23). Il n'y a donc pas à douter que c'est bien à de la chlorophylle qu'est due la coloration en vert du *N. Nidus-avis*.

La position des paillettes brunes dans les cellules paraît être

à peu près la même que celle qu'occupent d'ordinaire dans les feuilles les grains de chlorophylle. On les voit en grande partie disséminées sans ordre appréciable dans la cellule, et alors j'ai pu y observer des mouvements semblables à ceux que j'ai eu maintes fois occasion de constater sur les grains de chlorophylle contenus dans les feuilles d'un grand nombre de plantes ; d'autre part, on en voit aussi un grand nombre groupés autour du nucléus qu'ils couvrent plus ou moins complétement. Quant à la pénétration, annoncée par M. Wiesner, de ces petits corps bruns dans le nucléus lui-même, je n'ai jamais pu en observer d'exemple.

Lorsqu'on examine les fleurs à différents âges, à partir du bourgeon, on peut observer les diverses phases du développement des cristalloïdes. Dans le jeune bourgeon, les cellules ne contiennent encore que de l'amidon en grains le plus souvent agglomérés (fig. 13, 14, 15). Dans un bourgeon plus gros, peu avant l'épanouissement, on voit les grains de fécule couverts d'un enduit d'un brun clair (fig. 16, 17). Puis cette substance brunâtre augmente d'épaisseur en certains points, se façonne en angles saillants, et forme aussi peu à peu un cristalloïde autour d'un noyau de fécule (fig. 18, 17, 19). A mesure que la matière brunâtre augmente et qu'elle accuse plus nettement la forme cristalline, l'amidon contenu à son intérieur diminue progressivement (fig. 19), et enfin dans les cristalloïdes que contiennent les fleurs plus avancées (fig. 20) on n'en trouve plus d'ordinaire la moindre trace.

Ainsi, on voit que la matière protéique qui forme le cristalloïde est produite aux dépens des grains de fécule qu'elle enveloppe ; quant aux petits grains de fécule que l'on rencontre dans les cristalloïdes bien formés, ils paraissent n'être rien autre chose que les derniers restes du riche dépôt d'amidon qui a précédé l'apparition des cristalloïdes et qui s'est épuisé pendant leur formation. Rien de ce que j'ai vu ne me permet d'admettre qu'ils soient jamais analogues aux grains de fécule qui se forment à l'intérieur des grains de chlorophylle sous l'influence de la lumière.

Cet ordre de recherches ne m'a donc pas permis de constater que les cristalloïdes soient capables de former eux-mêmes de l'amidon, bien que je ne puisse pas non plus, j'en conviens, affirmer absolument le contraire. Il me paraît du reste audacieux d'assimiler, sans preuve certaine, un cristalloïde à un grain de chlorophylle, et d'admettre qu'une substance qui exerce dans les phénomènes vitaux un rôle aussi actif, aussi important que la chlorophylle, se présente sous forme cristalline. Une telle supposition semble peu d'accord avec ce que l'on sait jusqu'ici des cristaux protéiques, que l'on n'a guère observés que dans les graines où ils forment simplement des dépôts de substance assimilable mise en réserve.

Cependant la coloration en vert de la substance qui forme les cristalloïdes, et des cristalloïdes eux-mêmes, par l'apparition de la chlorophylle, est un fait absolument certain. Le point douteux est de savoir si la chlorophylle préexiste dans le cristalloïde coloré en brun que contient la plante vivante, ou si elle se forme seulement au moment où le cristalloïde se modifie et s'altère.

Dans les Algues qui ne sont pas vertes, dans les Floridées par exemple, qui sont colorées par des granules rouges, on a la preuve que la chlorophylle, dont on peut constater directement la présence dans la plante altérée et morte, existe bien certainement déjà dans la plante vivante, où elle est seulement masquée par le pigment rouge; on y constate l'action physiologique de la chlorophylle, on voit l'Algue rouge réduire sous l'action du soleil l'acide carbonique, et dégager de l'oxygène aussi bien qu'une Algue verte (1).

J'ai pensé que l'expérience directe pourrait résoudre par la même voie la question de savoir si la chlorophylle existe dans les tissus vivants du *N. Nidus-avis*. Pour cela j'ai placé des pieds fleuris de *N. Nidus-avis* sous une éprouvette retournée dans de l'eau chargée d'acide carbonique, et je les ai laissés exposés au jour et au soleil, quand il paraissait, durant une journée, de

(1) Voy. Rosanoff, *Observations sur les fonctions et les propriétés des pigments des diverses Algues*, dans les *Mémoires de la Soc. des sc. nat. de Cherbourg*, 1868, t. XIII, 159-165

huit heures du matin à cinq heures du soir. Les plantes ne s'altéraient pas pendant la durée d'une telle expérience ; après qu'elle était terminée, les fleurs exhalaient leur odeur ordinaire, plusieurs boutons souvent s'étaient ouverts dans l'eau. Malgré toutes les précautions, il était impossible de débarrasser entièrement les fleurs, quand on les plongeait dans l'eau au commencement de l'expérience, de l'air qui formait des bulles au fond des corolles, surtout dans les fleurs qui n'étaient pas encore complétement épanouies. On devait donc s'attendre à retrouver quelques bulles d'air dans l'éprouvette à la fin de l'expérience. Mes premiers essais furent faits dès le commencement de la floraison du *N. Nidus-avis*, par un temps généralement couvert. A la fin de la journée, je ne recueillais dans un tube gradué que quelques petites bulles de gaz dont le volume diminuait quelque peu par la potasse, ce qui annonçait la présence d'une petite quantité d'acide carbonique, mais où l'adjonction de l'acide pyrogallique ne produisait pas d'absorption, ni même de coloration brune marquée. Il n'y avait donc pas d'oxygène en quantité appréciable. La plus grande partie du gaz recueilli était de l'azote provenant sans doute de bulles d'air qui s'étaient détachées des fleurs. J'ai recommencé plus de dix fois de semblables expériences, le plus souvent, il est vrai, par un temps nuageux, mais à trois reprises du moins par un soleil sans nuage, et toujours cependant avec le même résultat. Dans les expériences faites au soleil, la quantité de gaz dégagé n'était guère plus considérable que pour les recherches faites par un temps pluvieux, et à l'analyse on trouvait seulement une quantité un peu plus considérable d'acide carbonique qui s'était dégagé de l'eau sous l'influence de la chaleur solaire. Jamais je n'ai pu obtenir, de trois pieds de *N. Nidus-avis* mis chaque fois ensemble en expérience, une quantité appréciable d'oxygène.

La conclusion qu'il semble naturel de tirer des résultats constamment négatifs de ces expériences, c'est que la chlorophylle n'existe pas dans le *N. Nidus-avis* vivant, et que par conséquent elle ne se forme que quand les cristalloïdes qu'il contient s'altèrent et verdissent. Toutefois il ne me paraît pas possible de

regarder ces expériences négatives comme absolument décisives en ce qui touche le point en question. Il ne faut pas oublier, en effet, que dans un végétal vert vivant deux phénomènes inverses se produisent: d'une part, la chlorophylle réduit l'acide carbonique sous l'action de la lumière et dégage de l'oxygène; d'autre part, la respiration proprement dite, qui est indispensable aux végétaux aussi bien qu'aux animaux, consomme de l'oxygène. Supposons que dans le *N. Nidus-avis* la chlorophylle existe réellement, mais seulement en faible proportion, il n'est pas impossible qu'elle produise une certaine quantité d'oxygène, bien qu'il ne s'en dégage pas et que ce gaz soit employé, à mesure qu'il se forme, pour les besoins de la respiration.

Quoi qu'il en soit, même en supposant que la chlorophylle existe normalement dans le *N. Nidus-avis*, on n'en est pas moins forcé de reconnaître qu'on ne saurait lui attribuer un rôle bien important dans la vie de cette plante, qui passe la plus grande partie de son existence cachée dans le sol, loin de la lumière, et ne montre au jour que pendant un temps relativement très-court ses hampes brunes couvertes de fleurs. Il est absolument impossible de supposer que c'est à la très-faible quantité de chlorophylle que peuvent contenir les hampes qu'est due la formation de tous les tissus de la plante, et en particulier de ces riches dépôts d'amidon que contiennent les jeunes cellules, et qui disparaissent précisément à mesure que se forment les cristalloïdes dans lesquels pourrait se montrer la matière verte. Il faut donc admettre, ce me semble, que le *N. Nidus-avis* vit, en grande partie du moins, à la manière des plantes dépourvues de chlorophylle qui ne sont pas aptes à créer de toute pièce de la matière organique, mais qui la puisent toute formée dans les tissus d'autres végétaux. On doit, il est vrai, regarder comme certain que le *N. Nidus-avis* n'est pas parasite; mais il croît au milieu de débris de feuilles, et il est tout naturel de penser qu'il s'y nourrit à la façon des Champignons saprophytes, aux dépens des produits organiques qui se trouvent accumulés dans les tissus végétaux qui se décomposent lentement autour de lui.

EXPLICATION DES FIGURES.

PLANCHE 10.

Fig. 1. Cellule du *Neottia Nidus-avis*, contenant de la matière brune sous forme de cristalloïdes très-allongés, disséminés dans son intérieur.

Fig. 2. Cristalloïdes bruns très-grossis, accolés les uns aux autres.

Fig. 3. Cristalloïdes bruns groupés autour d'un nucléus.

Fig. 4. Cellule contenant des cristalloïdes réunis autour du nucléus.

Fig. 5. Masses granuleuses vertes provenant de l'altération des cristalloïdes par l'action de l'eau bouillante.

Fig. 6. Masses vertes provenant de l'altération des cristalloïdes par l'alcool, réunies autour du nucléus. L'alcool commence à les dissoudre.

Fig. 7. Cristalloïdes de forme très-aiguë contenus dans une cellule.

Fig. 8. Masses brunes provenant de l'altération des cristalloïdes par l'action de l'eau qui a pénétré dans l'intérieur de la cellule déchirée qui les contenait. Ils contiennent encore de la fécule à leur intérieur.

Fig. 9. Cellule contenant des masses brunes provenant de l'altération des cristalloïdes par l'action de la gelée.

Fig. 10. Cristalloïdes colorés en vert et non encore déformés par l'action de l'alcool.

Fig. 11. Cristalloïdes plus ou moins complétement déformés par l'alcool et colorés en vert.

Fig. 12. Cristalloïdes un peu gonflés présentant à leur intérieur une partie centrale qui se différencie de la portion pariétale.

Fig. 13. Jeune cellule contenant des grains de fécule.

Fig. 14. Grains de fécule de grosseur différente, agglomérés, très-grossis.

Fig. 15. Cellules contenant de la fécule.

Fig. 16. Cellules contenant de la fécule recouverte de matière brune.

Fig. 17. Grains de fécule revêtus plus ou moins de matière brune.

Fig. 18. Cellule contenant des grains de fécule recouverts de matière brune, qui prend la forme de cristalloïdes.

Fig. 19. Grains de fécule recouverts de substance brune qui se façonne en cristalloïdes.

Fig. 20. Cellule contenant des cristalloïdes allongés dans lesquels on ne voit plus de grains de fécule.

Fig. 21. Spectre de dissolution alcoolique de chlorophylle de *Neottia Nidus-avis*. On distingue trois bandes d'absorption : la plus obscure (I) entre les lignes B et C; les deux autres (II un peu avant la ligne D, et IV un peu avant la ligne E) très-faibles.

Fig. 22. Spectre d'une solution alcoolique de chlorophylle de *Neottia Nidus avis*, plus concentrée que dans la figure précédente. Les bandes I, II et IV sont très-bien marquées (la bande III ne se distingue pas dans les solutions alcooliques comme dans les solutions éthérées de chlorophylle).

Fig. 23. Spectre d'une solution alcoolique de chlorophylle d'Épinard, présentant les bandes normales d'absorption I, II et IV.

OBSERVATIONS

SUR

LA REPRODUCTION DE QUELQUES NOSTOCHACÉES,

Par M. Edouard JANCZEWSKI,
Docteur en philosophie.

(Mémoire lu à la Société des sciences de Cracovie.)

« Scientia nostra de Phycochromacearum vita, evolutione,
» fabrica, propagatione, fecundatione, etc., adhuc valde imper-
» fecta et manca est. »

Cette phrase de M. Rabenhorst (1) pourrait être parfaitement bien répétée encore aujourd'hui. Les excellents travaux de MM. Thuret (2) et de Bary (3) ont cependant déjà jeté quelque lumière sur la reproduction des Nostochacées et des Rivulariées; néanmoins nos connaissances à ce sujet sont encore loin d'être satisfaisantes et ont besoin d'être complétées.

Si les faits acquis par mes observations, qui remontent au printemps de 1870, ne sont pas propres à élucider toutes les questions qui devraient être résolues, elles feront cependant, je l'espère, avancer la science d'un petit pas. Elles démontreront encore que ce n'est pas dans la présence ou l'absence des spores (*sporanges*, Thuret) qu'il faudrait chercher la distinction des deux sous-familles des Nostochacées : les Spermosires et les Nostocées, comme l'admettait M. Rabenhorst (4) ; mais tout autre part, les spores étant également propres aux Nostocs et aux Spermosires, comme je le démontrerai tout à l'heure. La

(1) Rabenhorst, *Flora europæa Algarum*. Pars I, p. 1.

(2) Thuret, *Observations sur la reproduction de quelques Nostochinées* (*Mémoires de la Société des sciences naturelles de Cherbourg*, t. V, 1857).

(3) De Bary, *Zur Kenntniss d. Nostochaceen insb. d. Rivularieen* (*Flora.*, 1863).

(4) *Loc. cit.*, p. 162.

propagation par filaments mobiles, propre seulement aux Nostocs, fournira un caractère réel et vraiment distinctif, les Spermosires n'en présentant aucun indice.

Je décrirai d'abord la germination et le développement du *Spermosira*, qui sont différents de ceux que M. Thuret a trouvés dans le *Cylindrospermum*, et ensuite je passerai aux Nostocs, à la germination des spores et au développement des filaments mobiles en nouvelles colonies.

I

Spermosira Hallensis sp. n. — Pl. 9, A.

Les filaments des Algues de ce genre sont composés, d'après M. Rabenhorst (1), de trois espèces de cellules, à savoir : 1° des cellules végétatives constituant la masse du filament; 2° des hétérocystes (*cellulæ interstitiales-Grenzzellen*) interrompant leur série de distance en distance; et enfin, 3° des spores se développant en petit nombre au centre du fragment limité par deux hétérocystes.

J'ai suivi la germination et le développement d'une espèce seulement, mais je ne doute pas que les autres ne se comportent de la même manière. Cette espèce n'est pas décrite dans le *Flora Algarum* de M. Rabenhorst, et je la nommerai *Spermosira hallensis*, parce qu'elle fut trouvée dans les bassins du jardin botanique de Halle. Ses caractères principaux seront les suivants : Filaments réunis par une matière muqueuse, et ne recevant de gaîne gélatineuse propre qu'à la maturité des spores ; spores considérablement plus épaisses que les cellules végétatives, deux fois plus longues que larges, en forme de tonneau ; leur contenu, de couleur vert bleu, est gorgé de gouttelettes huileuses ; leur membrane, assez épaisse, incolore, est recouverte, à la maturité, de petits tubercules.

Les spores ressemblent, à leur maturité, à un tonneau allongé,

(1) *Loc. cit.*, p. 185.

dont la surface latérale est recouverte de petites épines, tandis que les deux surfaces terminales sont lisses, et entourées d'une collerette un peu plus épaisse que les tubercules (fig. 2, 3). Elles sont les seules qui soient capables d'endurer la dessiccation et le froid; pour les forcer à une germination plus prompte et régulière, il faut les dessécher préalablement. Toutes les cellules végétatives, ainsi que les spores en voie de développement, sont complétement tuées par ce procédé. Les spores mûres, remises dans l'eau, commencent à germer au bout de cinq ou six jours.

Comme premier indice de la germination, un diaphragme transversal apparaît dans l'intérieur de la spore intacte, et divise son contenu (fig. 4, *a*). Le germe bicellulaire ainsi formé, en augmentant de volume, perce la membrane de la spore, et s'en délivre (fig. 5). La membrane est déchirée de diverses manières; le plus souvent le germe la rompt irrégulièrement, et prend son essor par une fente latérale ; quelquefois c'est une des surfaces terminales qui se détache en forme d'opercule (fig. 6), et ce n'est que très-rarement que la membrane se trouve comme coupée transversalement en deux moitiés, dont chacune recouvre un bout du germe (fig. 9).

Après s'être débarrassé de la membrane en totalité ou en partie, le germe continue à se développer dans le sens longitudinal, se divisant d'abord en quatre cellules (fig. 6), puis en huit, etc., et finit par constituer un filament complet (fig. 9).

Je dois ajouter ici qu'il m'est arrivé de voir quelquefois la division du germe en trois (fig. 4, *b*) ou en quatre cellules s'opérer encore dans la spore intacte, de sorte qu'après la rupture de la membrane, il en sortait un germe ayant déjà quatre cellules.

Il est à remarquer que le développement des filaments du *Spermosira* ne s'effectue pas toujours de la même manière, et semble dépendre des conditions extérieures. Je considère comme normal le mode de développement qui se manifestait dans des conditions plus favorables en avril, comme étant analogue à celui du *Cylindrospermum*.

Nous avons déjà mentionné que le germe se transforme en un filament, par suite de son développement dans le sens longitu-

dinal. Les cellules qui le constituent sont toutes égales en diamètre. Quand le filament a déjà atteint la longueur de 15, 20 ou 30 cellules, les deux cellules terminales se transforment en hétérocystes (fig. 11, *a*, *b*). Leur contenu devient jaune brunâtre et bien plus limpide, tandis que la membrane reste toujours incolore, s'épaissit, et reçoit une petite proéminence intérieure. Le filament continue à se développer et multiplier ses cellules, et bientôt apparaissent de nouveaux hétérocystes, qui se divisent en une dizaine ou même jusqu'à quatorze fragments. Les nouveaux hétérocystes intérieurs renferment aussi un contenu brunâtre et limpide; leur membrane incolore et épaisse possède déjà deux proéminences intérieures sur les deux surfaces terminales. Enfin, longs ou courts, les filaments commencent à fournir des spores, au développement desquelles nous consacrerons ensuite quelques mots.

Le deuxième mode de développement, qui eut lieu dans mes cultures de février et de mars, consistait en ce que le germe donnait naissance à un filament atténué aux deux extrémités (fig. 10), qui atteignait une longueur de 100 à 150 cellules. C'est alors seulement que commençaient à apparaître les hétérocystes le divisant en fragments. Les cellules terminales ne se transformaient jamais en hétérocystes, à cause de leur diamètre trop petit; les hétérocystes les plus proches de l'extrémité en étaient éloignés pour ce motif, tout au moins de 5 ou 6 cellules. Je trouvais aussi dans mes cultures d'avril des filaments développés de cette manière, ainsi que les transitions à l'autre, qui consistaient en ce qu'un bout du filament portait un hétérocyste, tandis que l'autre était atténué. Les germes atténués étaient cependant bien plus aptes à la production des hétérocystes que dans les cultures de mars et de février. Quand ils atteignaient la longueur d'une vingtaine de cellules, un hétérocyste apparaissait dans leur centre (fig. 12), et ensuite elles commençaient pour la plupart à former des spores (fig. 13).

Les spores se développent au centre de chaque fragment limité par deux hétérocystes, comme je l'ai déjà dit plus haut. Leur formation s'effectue aux dépens des cellules végétatives qui se

dilatent, mais s'allongent encore plus considérablement (fig. 1). Leur contenu se gorge de gouttelettes huileuses, et la membrane s'épaissit. Quand le moment de la maturité approche, tout le filament se revêt d'une gaîne gélatineuse, dont on n'apercevait pas même des traces jusqu'alors, et la membrane des spores se recouvre de petites papilles sus-mentionnées (fig. 2). Le développement de la gaîne gélatineuse écarte un peu les spores l'une de l'autre ; la gelée la transforme enfin en mucus, qui relie les jeunes plantules provenant de la germination.

Le développement des spores a lieu non-seulement dans les fragments limités par deux hétérocystes, mais aussi dans les fragments terminant des filaments atténués. Il commence aussi à peu près dans leur centre, et avance non-seulement vers l'hétérocyste, mais aussi vers le bout, à moins que la première spore ne s'en développe trop près. Enfin il m'a réussi de trouver (en avril) des germes excessivement petits, atténués, n'ayant aucun hétérocyste, et produisant cependant des spores dans le milieu de leur longueur (fig. 14).

Le développement des spores n'est point du tout fixé à un certain nombre de cellules occupant le milieu du fragment ; au contraire, il s'avance vers les hétérocystes, et attaque 10, 15 ou même 20 cellules végétatives. Par ce procédé, le nombre de celles-ci se trouve réduit de plus en plus, et parfois il n'en reste entre l'hétérocyste et la spore la plus proche que quatre ou trois, même deux ou une seule. Il m'est arrivé plus d'une fois de noter que cette dernière cellule végétative était aussi transformée en spore, lorsque tout le fragment n'en contenait plus une seule. Tout cela prouve que dans le *Spermosira*, du moins dans le *S. hallensis*, toutes les cellules végétatives sont propres à se transformer en spores, et s'il en reste généralement quelques-unes qui soient stériles, il faut l'attribuer sans aucun doute à un arrêt de développement.

La reproduction du *Spermosira* à l'aide de spores est le seul mode de propagation que j'y aie observé ; sans nul doute, il ne se multiplie pas à l'aide des filaments mobiles propres seulement aux Nostocs.

II

J'ai déjà mentionné auparavant que c'est à tort qu'on désignait les Nostocs comme dépourvus de fructification véritable. Les spores n'en étaient pas connues. Le seul mode de multiplication qu'on leur attribuait est celui qu'a découvert M. Thuret (1) ; il consiste en ce que la colonie tombe en déliquescence, et les chapelets se partagent en filaments mobiles.

Pendant mes recherches sur la germination du *Spermosira*, j'ai souvent trouvé à côté de ses spores d'autres spores plus petites, et germant d'une manière toute différente. Les germes, même les plus jeunes, étaient déjà recouverts de gelée, ce qui rappelait la nature du Nostoc. Des observations plus attentives ont parfaitement confirmé cette supposition.

Les véritables spores du Nostoc ont été trouvées pour la première fois et décrites par mon excellent ami M. J. Baranetzky, qui aperçut même leur germination (2). Cependant il les considérait comme des cystes, ne suivit pas le développement ultérieur des germes, et ne reconnut pas les rôles importants qu'ils jouent dans la reproduction du Nostoc.

Il m'a été donné de voir les spores dans plusieurs espèces de Nostocs, et je n'hésite pas à supposer que c'est un phénomène général (3) qui nous fournira une base solide et toute nouvelle pour la distinction des espèces, ne s'appuyant jusqu'alors que sur les propriétés de la gelée, sur l'apparence, la couleur et la grandeur des cellules, sur la forme des colonies ; en un mot, sur des caractères excessivement inconstants.

A la forme et à l'apparence des spores viendra se joindre un autre caractère aussi bien constant : c'est la manière dont se

(1) Thuret, *Note sur la reproduction du* Nostoc verrucosum (*Ann. des sc. nat.*, 3ᵉ série, 1844, t. II).

(2) Baranetzky, *Zur Kenntniss d. selbstsändigen Lebens der Flechtengonidien* (Pringsheim's *Jahrbücher*, t. VII).

(3) Bornet (*Rech. gonid. Lichens*, in *Ann. sc. nat.*, 5ᵉ série, t. XVII, p. 74, pl. 16, fig. 3) a récemment découvert les véritables spores des *Glœocapsa*, et il est probable que le nombre des Algues phycochromacées pourvues de spores ira en augmentant.

développent en colonies les filaments mobiles et qui s'effectue bien différemment suivant les espèces.

Je n'ai pu suivre d'une manière à peu près complète que le développement de deux espèces parfaitement caractérisées, comme on le verra plus tard, mais si difficiles à déterminer, que je ne veux pas garantir la justesse de leurs noms : l'un était le *Nostoc paludosum*, l'autre le *N. minutissimum*, tous deux figurés dans les *Tabulæ phycologicæ* de M. Kützing.

III

Nostoc paludosum. — Pl. 9, B.

Les colonies de cette espèce sont excessivement petites, et se laissent à peine reconnaître, à l'œil nu, comme de petits points. Le microscope révèle leur structure de Nostoc : des chapelets tordus dans une gelée commune.

Quand le Nostoc risque de se dessécher, les spores y apparaissent plus abondamment ; non-seulement les grandes colonies sont sujettes à leur formation, mais aussi les plus minimes (fig. 1). Les cellules occupant le centre d'un fragment limité par deux hétérocystes sont les premières à se transformer en spores. Cette métamorphose s'étend de plus en plus vers les hétérocystes, et il arrive parfois, comme dans le *Spermosira*, de trouver un fragment tout entier transformé en une rangée de spores. La métamorphose des cellules végétatives en spores s'effectue d'une manière toute simple ; la cellule augmente en dimension, se gorge de gouttelettes huileuses, et se revêt enfin d'une membrane assez épaisse. La couleur de la spore reste toujours vert bleu ; sa forme est ovoïde, et les diamètres dans la proportion 1 : 2.

Les spores mûres (fig. 1, 2) sont les seuls organes de la colonie qui ont la faculté de supporter le froid et la dessiccation. Les cellules végétatives sont à tout jamais tuées par ce procédé, tandis que placées dans de l'eau, les spores germent en quelques jours. La germination elle-même est tout à fait caractéristique : la membrane de la spore se déchire, et le germe apparaît déjà

revêtu d'une couche de gelée, qui est la métamorphose de la couche intérieure de la membrane de la spore (fig. 3).

Cette manière de germer se distingue en outre en ce que le germe apparaissant est encore unicellulaire, ce qui n'est nullement le cas pour le *Spermosira*. Cependant une division transversale ne tarde pas à s'y effectuer (fig. 4) ; les autres qui la suivent sont toujours parallèles à la première. Le germe s'allonge et se courbe ensuite, la gelée augmente aussi (fig. 5). De cette manière une nouvelle colonie vient se développer, sur les extrémités de laquelle apparaissent d'abord les hétérocystes (fig. 6, 7, 8), et ensuite dans son milieu, en sorte qu'elle ne diffère plus de la colonie mère que par ses dimensions.

Ces jeunes colonies sont cependant bien faciles à distinguer des petites colonies issues des filaments mobiles ; non-seulement leur aspect est différent, mais encore toutes ces petites colonies provenant de la même colonie mère constituent une agglomération, étant reliées par le mucus : la gelée transformée de la colonie mère.

Cette circonstance donne lieu à la supposition que toutes les espèces du Nostoc auxquelles on attribuait la présence des gaînes gélatineuses spéciales pour chaque chapelet (*Hormosiphon*), ne sont point des espèces normales, mais seulement l'état de développement que je viens de décrire, c'est-à-dire des agglomérations de jeunes individus provenant de la germination des spores.

Dans d'autres cultures, j'ai trouvé un développement bien différent de celui qui vient d'être décrit. La différence consistait en ce que les germes passaient à l'état de filaments mobiles, représentant par conséquent un état de transition à la formation des nouvelles colonies. Elle se manifestait déjà de bonne heure, car la gelée disparaissait sur les germes à deux ou à quatre cellules ; les germes se développaient entourés seulement du mucus commun, et, ayant atteint la longueur d'une vingtaine à une quarantaine de cellules, ils abandonnaient l'agglomération à l'état de filaments mobiles.

Les filaments mobiles se transforment en colonies d'une ma-

nière toute spéciale, et bien différente de celle qui a été trouvée par M. Thuret pour le *Nostoc Mougeotii* et le *N. vesicarium*, et que j'ai observée moi-même dans le *N. lichenoides*.

Afin de se rendre bien compte de cette métamorphose, il convient de cultiver les filaments mobiles (fig. 9) sur des lames de verre, et d'observer un certain filament plusieurs jours de suite. Passant à l'état de repos, le filament s'accole à la surface, et représente une ligne droite. Après quelques jours, on aperçoit que le filament n'est plus droit, mais ondulé (fig. 10, *a*). Les extrémités n'ont point changé de place; mais, par suite de l'allongement et des divisions toujours transversales des cellules, le filament finit par devenir sinueux (fig. 10, *a*). Après quelques jours, on voit que le nombre des cellules augmentant encore par divisions dans le même sens, le filament est devenu encore plus tordu; mais ses deux extrémités sont toujours restées dans la même place (fig. 10, *b*). Puis les cellules terminales se transforment en hétérocystes; le filament se revêt en même temps de gelée, et développe enfin d'autres hétérocystes, en sorte que la jeune colonie ne diffère plus d'une colonie adulte que par sa grandeur (fig. 11). Les divisions, qui s'y opèrent ultérieurement sont toujours transversales, c'est-à-dire dans le même sens que les premières, depuis le moment de repos du filament. Quant aux divisions longitudinales, qui sont si caractéristiques pour les filaments des *N. Mougeotii*, *vesicarium* et *lichenoides*, elles manquent complétement dans cette espèce.

IV

Nostoc minutissimum. — Pl. 9, C.

La grandeur des colonies de cette espèce est à peine plus considérable que celle de l'espèce précédente; cependant elles sont très-faciles à distinguer par la forme des spores, qui sont ici isodiamétriques, parfois même plus courtes que larges (fig. 1, 2). Leur développement commence aussi au centre d'un fragment limité par deux hétérocystes, vers lesquels il se dirige (fig. 1).

Comme dans l'espèce précédente et le *Spermosira*, les spores mûres sont les seules capables d'endurer le froid et la dessiccation. Mises dans l'eau, elles y germent dans l'espace de plusieurs jours, et de la même manière que celles du *Nostoc paludosum :* le germe sortant de la membrane est unicellulaire, et déjà recouvert de gelée (fig. 3). Il ne tarde pas cependant à se diviser d'abord en deux (fig. 4), puis en quatre cellules, à l'aide de cloisons parallèles à la première ou parfois même perpendiculaires (fig. 5, 6, 7, 8). Dès ce moment, on remarque déjà une différence bien sensible dans le développement des germes en cultures diverses.

Si les conditions extérieures étaient défavorables, et pardessus tout s'il y avait surabondance de lumière et de chaleur, le développement s'effectuait à l'exemple du premier mode de germination du *N. paludosum.*

Le nombre des cellules des germes augmente aussi bien que la gelée, tandis que leur contenu reste assez pâle, et ne contient que très-peu de gouttelettes huileuses. Tous ces germes agglomérés par le mucus de la colonie mère n'atteignent que de très-petites dimensions ; les hétérocystes apparaissent aux extrémités des germes à 10, 8 et même à 6 cellules (fig. 9). Le développement ultérieur de ces colonies minimes est bien restreint ; la plupart périssent complétement, tandis que dans le centre des plus grandes (de 8 à 12 cellules), il se développe une (fig. 10), deux ou même trois spores.

Les cultures qui n'étaient jamais exposées à l'action directe des rayons solaires donnaient des résultats bien plus favorables. La gelée disparaissait déjà sur des germes à deux ou à quatre cellules (fig. 11, 12). Leurs cellules étaient de couleur bien plus intense, contenaient des gouttelettes huileuses, et se multipliaient par divisions transversales. Les germes se transformaient de cette manière en filaments, parfois tordus, et emprisonnés seulement dans le mucus de la colonie mère (fig. 13, 14). A un certain degré de développement, les filaments se redressaient, abandonnaient le mucus, et commençaient à se mouvoir dans le liquide ambiant.

La transformation des filaments mobiles (fig. 15) en colonies s'opère d'une manière caractéristique. Le filament parvenu à l'état de repos se revêt bientôt d'une gaîne gélatineuse (fig. 16), et multiplie ensuite le nombre de ses cellules de la manière suivante : Chacune de ces cellules s'allonge et adopte une position oblique, donnant ainsi au filament l'aspect d'un fin zigzag. Ensuite les cellules se divisent une fois par des cloisons obliques à leur axe (fig. 17), et transforment le filament en chaînette entourée de gelée. Les hétérocystes y apparaissent de la manière générale, d'abord aux extrémités et puis au milieu ; les divisions ultérieures s'opèrent aussi comme d'ordinaire en direction toujours transversale ; enfin, la jeune colonie ne diffère plus en structure d'une colonie adulte, et rien ne trahit la manière caractéristique dont elle a été produite.

EXPLICATION DES FIGURES.

PLANCHE 9.

A. *Spermosira hallensis.*

Fig. 1. Portion d'un filament dans lequel la formation des spores a déjà commencé. — Grossissement, 490 diamètres.

Fig. 2. Portion de filament à spores mûres ; la gelée s'y distingue déjà. — Gross. 490.

Fig. 3. Spore isolée. — Gross. 490.

Fig. 4. Germination des spores. Leur contenu déjà divisé : *a*, en deux, et *b* en trois cellules. — Gross. 490.

Fig. 5, *a*, *b* et *c*. Germination plus avancée. Le germe se débarrasse de la membrane déchirée. — Gross. 490.

Fig. 6. Germe à quatre cellules ayant rompu la membrane en forme d'opercule. — Gross. 490.

Fig. 7 et 8. Germes quittant la membrane. — Gross. 490.

Fig. 9. Germe ayant rompu la membrane en deux moitiés. — Gross. 490.

Fig. 10. Germe atténué. Culture du mois de mars. — Gross. 490.

Fig. 11, *a* et *b*. Apparition des hétérocystes à l'extrémité des germes. — Gross. 490.

Fig. 12. Apparition de l'hétérocyste au centre du germe atténué. — Gross. 490.

Fig. 13. Le même. Une spore commence à s'y former. — Gross. 490.

Fig. 14. Germe minime et sans hétérocystes, mais produisant des spores. — Gross. 490.

B. *Nostoc paludosum.*

Fig. 1. Individu minime, mais sporifère. — Gross. 490.

Fig. 2. Spores isolées. — Gross. 490.

Fig. 3. Germination des spores. Germes unicellulaires. — Gross. 490.

Fig. 4. Germes bicellulaires. — Gross. 490.

Fig. 5, *a*, *b*, *c* et *d*. Développement ultérieur des germes. — Gross. 490.

Fig. 6, 7 et 8. Apparition des hétérocystes sur les germes. — Gross. 490.

Fig. 9. Filament mobile nageant. — Gross. 330.

Fig. 10. *a*, filament en repos déjà ondulé; *b*, le même individu quelques jours après. — Gross. 330.

Fig. 11. Jeunes colonies issues des filaments mobiles. — Gross. 490.

C. *Nostoc minutissimum.*

Fig. 1. Petite portion d'individu sporifère comprimé. — Gross. 490.

Fig. 2. Spores isolées. — Gross. 490.

Fig. 3. Germination des spores. Germes unicellulaires. — Gross. 490.

Fig. 4. Germes bicellulaires. — Gross. 490.

Fig. 5, 6, 7 et 8. Développement des germes placés dans des conditions défavorables. — Gross. 490.

Fig. 9. Apparition des hétérocystes. Même culture. — Gross. 490.

Fig. 10. Apparition d'une spore. Même culture. — Gross. 490.

Fig. 11. Germe bicellulaire, dont la gelée est disparue. — Gross. 490.

Fig. 12, 13 et 14. Développement ultérieur des germes en conditions favorables. — Gross. 490.

Fig. 15. Filament mobile nageant. — Gross. 490.

Fig. 16. Filament en repos déjà recouvert de gelée. — Gross. 490.

Fig. 17. Transformation du filament en colonie par cloisons obliques. — Gross. 490.

DE LA RESPIRATION

ET

DE LA CIRCULATION DES GAZ DANS LES VÉGÉTAUX,

Par M. A. BARTHÉLEMY,
Professeur de physique au lycée de Toulouse, docteur ès sciences.

---

§ 1.

DES CAUSES PHYSIQUES DE L'INTRODUCTION ET DU REJET DE L'ACIDE CARBONIQUE ET DE L'OXYGÈNE DANS LES PLANTES.

S'il est un point resté obscur dans l'absorption de l'acide carbonique et le rejet de l'oxygène par les feuilles, c'est, sans contredit, la cause physique du phénomène et les organes par lesquels cet échange s'effectue.

On a jusqu'ici peu recherché comment les gaz pénétraient dans les tissus des végétaux, et surtout pourquoi l'acide carbonique, si rare dans l'atmosphère, dont il ne constitue que les 5 à 6 dix-millièmes, peut être néanmoins absorbé en quantité assez considérable pour suffire au rapide développement de la plante. M. Corenwinder affirme, en effet, qu'une plante ayant 30 centimètres de haut peut faire disparaître par ses feuilles un décilitre d'acide carbonique en moins de deux heures d'insolation (1).

Le même observateur avait déjà établi qu'un pied de Colza, haut de 28 centimètres, qui pesait 38 grammes frais, pouvait décomposer, pendant deux heures de soleil, 1992 centimètres cubes d'acide carbonique, c'est-à-dire l'acide contenu dans 4 mètres cubes d'air environ. J'ai observé moi-même, au jardin

(1) *Ann. sc. nat.*, 1868, t. IX, p. 66.

des plantes de Montpellier, un Bambou (*Bambusa mitis*) qui croissait d'un centimètre par heure au mois de juillet. Un pareil accroissement doit coïncider avec la fixation d'une quantité considérable de carbone.

Ici se présente, il est vrai, une question importante. L'air est-il la source unique où les plantes, dans l'état normal, puisent leur acide carbonique ? Les racines ne pourraient-elles pas leur en envoyer une notable proportion puisée dans le sol, l'air confiné dans la terre superficielle en contenant une quantité assez grande ? Dans des recherches déjà anciennes, mais que je n'ai pas encore publiées, sur l'absorption des bicarbonates par les plantes dans les eaux naturelles, je me suis assuré que la proportion de ces corps absorbés par le végétal est très-faible par rapport au développement de la plante, et que, de plus, les racines, même pendant le jour, exhalent de l'acide carbonique. M. Corenwinder dit, d'ailleurs, dans le mémoire cité plus haut : « Je pense aujourd'hui que les racines des plantes n'ont pas » la propriété d'absorber dans le sol l'acide carbonique, ou, au » moins, que la quantité qui peut pénétrer par cette voie n'est » pas une source abondante de carbone (1). » Il serait évidemment trop absolu de nier l'introduction de l'acide carbonique par les racines, puisque c'est lui qui doit servir de dissolvant à la silice, aux phosphates, aux carbonates insolubles qui se déposent dans les tissus d'un grand nombre de végétaux ; mais il paraît certain que les racines exhalent aussi ce gaz et le rendent, peut-être avec usure, au sol. Il y aurait ainsi déplacement, mais non acquisition de carbone.

La plupart des physiologistes pensent que l'échange de gaz se fait par les ostioles connues sous le nom de stomates.

C'est ainsi que dans sa *Physiologie végétale* M. Julius Sachs attribue aux stomates, ou aux ouvertures analogues, le rôle unique dans l'introduction des gaz (2). Il croit démontrer la *per-*

(1) Depuis la rédaction de ce travail, M. Cailletet a soumis à l'Académie des sciences (*Compt. rend.*, 1872) des expériences tendant à prouver que les racines n'absorbent pas l'acide carbonique.

(2) J. Sachs, *Physiologie végétale*, p. 275, § 12.

méabilité des stomates pour l'air, et leur communication avec *les vaisseaux*, en faisant pénétrer une feuille par son pétiole dans un récipient de machine pneumatique, tandis que le limbe, à l'extérieur, est entouré d'une atmosphère d'acide carbonique. Le pétiole plonge dans de l'eau de chaux. On fait le vide et l'on voit se dégager par le pétiole des bulles qui troublent l'eau de chaux. L'expérience inverse démontre également, suivant cet auteur, que l'acide carbonique peut pénétrer par le pétiole et ressortir par les *stomates du limbe.*

Je n'ai pas besoin de faire remarquer combien ces variations énormes de pression s'éloignent des conditions naturelles, et prouvent peu en faveur du rôle spécial des stomates et des vaisseaux.

Appelé par une aspiration considérable, l'air doit se frayer des passages artificiels de toutes sortes. Je ne vois pas, d'ailleurs, où peut être, dans le végétal, la machine pneumatique.

On n'a, à vrai dire, pour attribuer aux stomates un rôle du premier ordre dans la respiration, d'autre raison que leur analogie avec la bouche des animaux, et la croyance que la feuille et la plante sont protégées, en tout autre point, par leur enveloppe extérieure contre la pénétration des gaz. Or il suffit d'un peu d'attention pour se convaincre que ces ostioles ne peuvent servir ou même aider à l'échange de l'acide carbonique et de l'oxygène.

Et d'abord l'analogie de forme avec la bouche des animaux ne saurait être suffisante ni même sérieuse, puisque chez les animaux supérieurs les narines plus que la bouche servent à la respiration, et que chez les insectes et les animaux à respiration cutanée la bouche n'a rien de commun avec la respiration.

Les stomates se trouvent à la face inférieure des feuilles, plus rarement à la face supérieure et presque toujours en moindre quantité dans celles-ci. Ils sont ainsi presque toujours opposés à la lumière. Ils existent dans des cavités où la lumière ne pénètre pas (ovaire des Passiflores, des Crucifères, des Résédacées, etc.).

Dans le Laurier-rose, nous les trouvons au fond de cavités relativement profondes et garnies de poils. Dans les Éléagnées,

ils sont recouverts de poils en écusson. Ils manquent, au contraire, presque complétement sur les Cactées et sur les fruits verts à respiration énergique, dans les plantes submergées, sur la plupart des pétales, et sur les spathes des Aroïdées, qui sont cependant le siége de phénomènes respiratoires très-intenses.

On trouve, en revanche, les stomates sur les organes qui sont en rapport avec les gaz intérieurs, sur la face inférieure de la feuille où se trouvent les lacunes cellulaires, sur la tige ou le pétiole de beaucoup de plantes fistuleuses. Ils manquent généralement dans les racines à tissu uniforme, mais ils reparaissent dans les racines de l'*Anthurium crassinervium*, sur le rhizome de certaines Fougères, d'après M. Trécul, parfois, d'après Schleiden (1), au-dessous d'une couche de cellules superficielles pleines d'air (*velamen radicum*).

L'ouverture proprement dite est fort petite dans les stomates, elle ne dépasse pas pour les plus grands 2 ou 3 centièmes de millimètre ; de sorte que la surface effective d'absorption se bornerait, pour des plantes très-actives d'ailleurs, à une faible portion de leur surface, même en les supposant toujours dans leur grande expansion.

La petitesse de ces ouvertures serait défavorable à l'introduction de l'acide carbonique, puisque la vitesse d'introduction des gaz par les petites ouvertures est proportionnelle à leur tension relative et en raison inverse de la racine carrée de leur densité. L'acide carbonique étant une fois et demie plus pesant que l'air, sa vitesse d'introduction, en vertu de cette loi, serait moindre que celle de l'oxygène et de l'azote, ce qui diminuerait, pour la plante, sa proportion relative déjà si faible.

Que si cette introduction se faisait, comme pour les animaux supérieurs, par des inspirations mécaniques que rien n'autorise à supposer, il faudrait l'inspiration et l'expiration de 10 000 litres d'air pour l'absorption de 4 à 5 litres d'acide carbonique et la fixation d'un poids de carbone moindre que 2 grammes. C'est ici qu'il faudrait la machine pneumatique de M. J. Sachs !

(1) *Grundz.*, 3e édition, t. I, p. 284.

Ces organes étant fermés par la moindre pellicule d'eau, par l'obscurité et par bien d'autres causes, la respiration serait, de plus, soumise à des intermittences que l'expérience n'a point démontrées.

Enfin, M. Boussingault ayant mis hors de doute que la face supérieure de la feuille, dépourvue de stomates, possède une activité respiratoire plus grande que celle de la face inférieure, et l'observation démontrant, en outre, que les stomates ne sont pas ouverts dans les jeunes feuilles qui respirent beaucoup, il est absolument nécessaire de chercher ailleurs la cause et l'organe des échanges de l'acide carbonique et de l'oxygène, entre la plante et l'air atmosphérique.

Dans la discussion qui précède, nous n'avons voulu que mettre en relief le rôle négatif des stomates dans la respiration *cuticulaire*.

§ 2.

DE LA DIALYSE DES GAZ A TRAVERS LA CUTICULE.

Après avoir exclu les stomates de tout rôle actif dans la respiration de l'acide carbonique, on ne peut qu'être frappé de la nécessité, pour les gaz, de traverser la cuticule avant de pénétrer dans le parenchyme intérieur. La composition spéciale de cette membrane, sa généralité sur toutes les parties vertes, même sur les organes dépourvus d'épiderme, sont autant de preuves de son importance physiologique jusqu'ici méconnue.

Bien que considérée seulement comme un vernis protecteur destiné à s'opposer aux échanges des gaz et des vapeurs, la cuticule n'en a pas moins été, depuis sa découverte par M. Brongniart, l'objet de nombreuses études. M. Garreau (1) a fait voir qu'elle précède la formation de l'épiderme, et il l'a retrouvée jusque sur l'ovule (2). Cet observateur a de plus publié quelques

(1) *Nature de la cuticule* (*Ann. des sc. nat.*, t. XIII, p. 304, et *Rech. absorpt. des surfaces aériennes des pl.* (*ibid.*, p. 321).

(2) Dans le rapport qu'il consacre à ce mémoire (concours du prix Bordin, 1871), M. Duchartre considère la cuticule comme une *simple excrétion de l'épiderme*. Cette

observations sur le pouvoir endosmotique de cette membrane; il a fait voir qu'elle laissait passer l'acide carbonique dans de l'eau de chaux. Ainsi cet habile observateur avait entrevu, je me plais à le reconnaître, le rôle physiologique de la cuticule. Cependant ces recherches paraissent de peu d'importance à M. J. Sachs; satisfait de ses expériences sur les stomates, ce physiologiste se contente de dire en note : « L'expérience de Garreau (*Ann. sc. nat.*, 1850), d'après laquelle l'épiderme, dénué de stomates, des écailles de l'Oignon, laisse passer l'acide carbonique dans de l'eau de chaux, *prouve simplement que la diffusion des gaz s'opère à travers les membranes cellulaires*, et ne peut pas servir de point de départ pour d'autres déductions (1). » Le savant allemand aurait pu, du moins, en conclure que les gaz peuvent passer par d'autres points que les stomates.

M. Trécul (2) a constaté l'existence de plusieurs couches cuticulaires superposées. Il a fait voir, en outre, que cette substance recouvre les cellules sous une certaine profondeur, comme l'avaient déjà constaté Gasparrini et Hugo von Mohl. Ces observations permettent de conclure que l'action de la cuticule ne s'arrête pas à la surface, mais qu'elle se propage à une certaine profondeur dans l'intérieur du végétal.

M. Brongniart (3) isolait la cuticule en laissant des feuilles de Choux macérer longtemps dans l'eau. On peut voir sur les membranes ainsi obtenues l'ouverture des stomates, la gaîne des poils, etc. M. Garreau agit plus rapidement en traitant les feuilles par l'acide sulfurique étendu, qui liquéfie la cellulose et laisse la cuticule : 500 grammes de feuilles de Rose donnent ainsi 10 grammes de cuticule. On peut encore l'isoler sous le microscope avec l'acide chlorhydrique, et la reconnaître à la couleur brune qu'elle acquiert par l'acide sulfurique et l'iode. Il n'est

manière de voir, qui est en contradiction avec les recherches de M. Garreau, n'infirmerait en rien le *rôle physiologique* de cette membrane.

(1) J. Sachs, *Physiologie*, p. 271.

(2) *Compt. rend.*, 1856, t. XLVII.

(3) *Ann. sc. nat.*, 2e série, 1834, I, p. 65.

pas rare, du reste, lorsqu'on observe au microscope des lambeaux d'épiderme, de voir des fragments de cuticule isolée.

Par un procédé semblable à celui de M. Garreau, mais peut-être plus exact, M. Fremy (1) a séparé la cuticule des feuilles et lui a trouvé la composition suivante : C = 73,66, H = 11,37, O = 17,77.

M. Garreau avait obtenu la formule $C^{17}H^{16}O^{5}$, et proposait d'appeler cette substance *cuticulose*. Ces observateurs sont d'accord que sa composition chimique se rapproche de celle du caoutchouc, *dont elle a surtout la constitution physique*. Il me paraît, en effet, en ayant égard aux difficultés d'isolement, que les analyses précédentes concordent assez bien avec celles de M. Spiller (2) sur le caoutchouc modifié par l'air, la lumière, le soleil, et auquel il a assigné la composition suivante : C = 64, H = 8,46, O = 27,54.

Cette analogie de constitution physique et chimique entre la cuticule et le caoutchouc m'a amené à appliquer à la respiration des plantes les résultats obtenus par M. Graham (3) sur le passage des gaz au travers des membranes colloïdales, et en particulier à travers de minces pellicules de caoutchouc. A l'aide de dialyseurs très-simples, Graham a fait voir que les gaz ne suivent pas, dans leur passage à travers des lames colloïdales, la même loi qu'à travers les plaques poreuses; que l'azote est le gaz qui passe le plus lentement à travers une pellicule de caoutchouc. L'acide carbonique est au contraire le gaz qui passe avec la plus grande vitesse. La *vitesse* du passage de l'azote étant représentée par 1, celle de l'oxygène sera 2,556, et celle de l'acide carbonique 13,558. Graham porte à 1/75 de millimètre, ou $0^{mm},013$, l'épaisseur sous laquelle on peut observer la dialyse. Cette limite est bien voisine de celle que peut atteindre l'épaisseur des couches cuticulaires extérieures et intérieures. Il a dé-

(1) *Compt. rend.*, t. XLVIII, p. 669. — *Ann. sc. nat.*, 4e série, t. XII, 1863, p. 45.

(2) *Journal of the Chim. Soc.*, février 1864. — Wurtz, *Dictionnaire de chimie*, art. CAOUTCHOUC.

(3) Ces expériences sont analysées dans *Ann. de chim. et de phys.*, 4e série, 1867 ; on les trouve aussi signalées dans l'*Annuaire scientifique* de M. Dehérain pour 1867.

montré que la température augmente le pouvoir dialyseur. Tout le monde sait que les ballons de caoutchouc, pleins d'hydrogène, laissent passer rapidement le gaz. On peut encore faire pour l'air, l'oxygène ou l'acide carbonique, l'expérience suivante : On remplit de ces gaz un flacon que l'on ferme par une membrane de caoutchouc très-mince, on recouvre d'une cloche, et l'on expose au soleil. Le gaz intérieur s'échauffe beaucoup, la membrane se bombe d'abord ; puis, lorsqu'on laisse refroidir, elle rentre par la pression à l'intérieur du flacon, de manière à tapisser les parois et à indiquer le départ presque complet du gaz. Lorsqu'on agit avec l'air, on trouve de l'azote presque pur dans l'intérieur du flacon. Cette dernière expérience très-simple est à retenir pour les fonctions des feuilles. Il est évident que, pour rapporter d'une manière complétement irrécusable les observations de Graham à la cuticule, il faudrait pouvoir répéter avec des lambeaux de cette dernière les expériences de l'illustre savant. Il suffirait pour cela de quelques millimètres carrés; mais la difficulté de l'obtenir isolée, sans trous et sans déchirures, rend l'expérience presque impossible.

J'ai tenté et j'ai exposé dans un premier travail quelques essais en prenant des lambeaux de l'épiderme ou même des feuilles (1); j'ai pu depuis donner à ces expériences plus de perfection. Tout le monde connaît les Bégoniacées à feuilles tachetées de blanc, taches qui ne sont d'ailleurs, ainsi que je m'en suis convaincu, qu'un soulèvement de l'épiderme sur une couche d'azote. Les feuilles de certaines variétés, excessivement minces déjà sur la plante vivante, se réduisent, en se fanant, à l'état d'une pellicule douée d'élasticité et qui ne représente plus, à peu près, que les couches cuticulaires. Ce sont ces lames colloïdales qui m'ont servi à répéter l'expérience de Graham en la modifiant très-légèrement :

Un tube de 5 millimètres de diamètre intérieur était surmonté d'un petit entonnoir cylindrique de 18 millimètres de diamètre. Cet entonnoir pouvait se fermer, par l'intermédiaire d'un corps

(1) *Compt. rend.*, août 1868, et *Ann. sc. nat.*, 1868; t. IX, p. 287.

gras, avec un anneau de buis fermé à sa base supérieure par une plaque circulaire de gypse (1). Cette disposition permettait d'ouvrir le tube pour faire remonter le mercure au même point dans les diverses expériences. Ce tube avait 40 centimètres de hauteur et était terminé en bas par un tube de caoutchouc qui communiquait avec un réservoir de mercure. Ce réservoir pouvait glisser le long d'une tige verticale; de sorte qu'après avoir amené le niveau du mercure en haut du tube, et après avoir bouché ce dernier avec la plaque de gypse recouverte de la membrane végétale, on pouvait produire une aspiration déterminée en descendant le réservoir le long de la tige. Pour observer le passage des gaz autres que l'air, on recouvre, comme le faisait Graham, le sommet du tube d'une coiffe de caoutchouc, munie de deux tubulures qui permettent de produire un courant de gaz au-dessus de la membrane.

On commence par s'assurer que la membrane est intacte et qu'elle ne présente pas de déchirures, par la dialyse de l'air seul. Trois expériences, répétées les 16, 17 et 18 mars, m'ont donné, au bout de six heures, les résultats suivants :

	Volume de gaz recueilli.	Absorption de l'oxygène par le pyrogallate de potasse.	Proportion d'oxygène.
	cc		
16 mars................	5,2	1,9	36,5 p. 100.
17 mars................	5,5	2,3	41
18 mars................	7	2,2	31

Bien que ces proportions d'oxygène présentent un écart assez grand dû à la difficulté de répéter ces expériences dans les mêmes conditions de pression extérieure, de température et *surtout d'état hygrométrique*, on peut conclure que l'oxygène passe plus vite que l'azote, et que l'air, ainsi dialysé, contient en moyenne 36,1 p. 100 d'oxygène. Ce nombre est un peu inférieur à celui qu'avait trouvé Graham pour le caoutchouc.

Cette vérification faite et ce résultat important obtenu, nous avons procédé à la comparaison des vitesses des trois gaz qui

(1) J'ai remplacé avec avantage la plaque de gypse par une mousseline épaisse et fortement tendue.

nous intéressent le plus. Pour cela, après avoir établi au-dessus de la membrane un courant d'acide carbonique, on marquait le point où descendait le mercure au bout d'une heure; puis, faisant passer de l'azote et de l'oxygène, on notait les temps que mettait le mercure pour descendre au même point de repère. Dans quatre expériences faites avec des membranes différentes, nous avons obtenu les résultats suivants :

	1re expér.	2e expér.	3e expér.	4e expér.
Acide carbonique..........	1 h.	1 h.	1 h.	1 h.
Azote....................	15	15,40	15,30	14
Oxygène..................	6	6,20	7	5,40

Ces expériences, faites dans des conditions de pression, de température et d'état hygrométrique qui ne sauraient être identiques, me paraissent concorder cependant suffisamment avec celles de Graham, et nous permettent de conclure que les surfaces colloïdales naturelles des végétaux ont pour l'acide carbonique un *pouvoir admissif*, qui est de 13 à 15 fois plus considérable que celui qui correspond à l'azote, et 6 à 7 fois plus grand que celui qui se rapporte à l'oxygène.

J'ai opéré quelques jours après avec de l'acide carbonique parfaitement desséché, et je n'ai plus trouvé comme vitesse, par rapport à l'azote, que des nombres variant entre 9 et 11. Il semble donc que l'anhydride carbonique passerait moins vite que l'acide carbonique hydraté. En remplaçant la lame végétale par du caoutchouc, j'ai constaté un résultat semblable; la différence est moins prononcée pour l'oxygène et l'azote desséchés.

J'ai dernièrement essayé des dissolvants, sulfure de carbone, benzine, essence de térébenthine. Cette dernière surtout m'a donné des résultats intéressants. Par une macération de plusieurs jours, certaines feuilles deviennent transparentes, et prennent tout l'aspect d'une lame de caoutchouc gonflée par l'essence. En même temps du caoutchouc soluble s'accumule dans l'essence que l'on peut enrichir en renouvelant les feuilles. Je citerai comme donnant les plus curieux résultats : *Stillingia sebifera*, feuille jeune de *Ficus elastica*, feuille de *Philadel-*

phus, qui devient mince et peut se coller contre un verre, *Cocculus laurifolius*, Lierre, etc. La partie soluble, évaporée sur un linge fin, m'a donné une lame mince colloïdale de caoutchouc avec laquelle j'ai pu répéter les expériences de Graham. Toutefois cela prouve simplement l'existence du caoutchouc dans les feuilles, et personne n'ignore que le latex en contient presque toujours.

Il était encore intéressant de constater si une mince couche de caoutchouc étendue sur une feuille empêche la dissociation de l'acide carbonique. A cet effet, j'ai étendu sur une feuille de Laurier-rose adhérente à la tige, à l'aide d'un pinceau fin, une couche de caoutchouc dissous dans l'essence ; la feuille a ensuite été détachée de la tige et exposée au soleil dans un flacon d'acide carbonique. Au bout de trois heures d'exposition au soleil, on a absorbé l'acide carbonique par la potasse, et l'on a obtenu un résidu d'oxygène (10 cent. environ), entièrement absorbable par le pyrogallate, *sans le résidu d'azote que l'on obtient habituellement*. En augmentant l'épaisseur de la couche, on peut arriver à la limite sous laquelle peut se faire la décomposition. J'estime à peu près cette limite à 3 ou 4 dixièmes de millimètre.

Les expériences et les observations contenues dans ce paragraphe, les analogies de composition chimique et de constitution physique proclamées, sans idées préconçues, par tous les observateurs, entre la cuticule et le caoutchouc, l'activité d'absorption pour l'acide carbonique que présente la face supérieure des feuilles dépourvues de stomates, tous ces faits me semblent devoir amener à une certitude à peu près absolue sur le rôle que joue la cuticule dans la décomposition de l'acide carbonique. Il me semble surtout que les naturalistes qui ont été amenés à admettre un rôle spécial, mais mystérieux et inexpliqué, de la part des cellules de l'épiderme, doivent trouver, dans mon interprétation nouvelle, une extension et en même temps une justification de leurs idées. La vitesse de passage de l'acide carbonique étant de 13 à 15 fois plus grande que celle de l'azote, la proportion relative de ce gaz se trouve multipliée par ce coeffi-

cient. Quant au sens de l'échange, quant au renversement de la respiration diurne en respiration nocturne et leur activité relative, ils dépendent évidemment de l'action chimique intérieure, c'est-à-dire de l'influence de l'agent lumineux.

Il n'est pas impossible qu'il existe plusieurs variétés de cuticule, comme il existe plusieurs variétés de cellulose (1).

La cuticule imprégnée de silice des Graminées en est un exemple frappant. Ces variétés de cuticule auraient des pouvoirs admissifs différents pour les mêmes gaz, suivant leur composition chimique ou simplement leur état moléculaire.

On pourrait ainsi expliquer comment les Graminées, d'après M. Boussingault, empruntent au sol tout leur azote.

Je ferai remarquer, en terminant, que la *respiration cuticulaire* est prouvée, autant qu'il est possible de le faire, en physiologie animale et végétale. Que si les expériences de Graham n'avaient pas existé, l'idée de les instituer se serait naturellement présentée à l'esprit pour prouver le rôle de la cuticule. Dutrochet n'a pas procédé autrement quand il a découvert l'endosmose. Nous avons vu d'ailleurs l'Académie des sciences accorder une de ses plus hautes récompenses à M. Dehérain pour ses intéressantes recherches sur l'absorption par les racines, recherches faites principalement avec des vases poreux (2).

§ 3.

DES MODIFICATIONS DE LA SURFACE CUTICULAIRE ET DE SES RAPPORTS AVEC LE PARENCHYME VERT INTÉRIEUR.

Outre les pores qu'elle présente aux points où se sont développés les stomates, la cuticule offre encore à sa surface des villosités, des poils et des organes divers qui peuvent jouer un rôle complémentaire dans la respiration cuticulaire (3).

(1) Fremy, *loc. cit.*

(2) *Ann. sc. nat.*, 5e série, 1867, t. VIII, p. 145.

(3) L'absorption gazeuse existe aussi à travers l'épiderme des animaux : on connaît

Ainsi, dans le *Nelumbium*, les cellules épidermiques, hexagonales et régulières, comme dans les Monocotylées, présentent à leur centre, dans chacune d'elles, une ouverture limitée par une double ligne circulaire, et surmontée d'une villosité qui est creuse à l'intérienr, et communique par l'aréole bicirculaire avec le parenchyme vert intérieur. Dans le *Stillingia sebifera*, ces villosités existent à la face inférieure, et ont, au microscope, l'aspect de nids de pigeon.

Ces villosités ne sont pas toujours au centre de cellules épidermiques; elles peuvent correspondre à une lacune de l'épiderme, et l'on voit alors le premier cercle de l'aréole formé par les cellules épidermiques. C'est ce que l'on peut voir dans l'épiderme supérieur des feuilles de *Broussonetia*, dont les villosités, entourées à la base de cellules épidermiques modifiées comme celles qui accompagnent les stomates, contiennent souvent de la chlorophylle liquide. Dans les Bégoniacées, les poils de la face supérieure sont soulevés à leur base par une accumulation de gaz qui produit ces taches blanches éparses sur la feuille. Dans quelques espèces, ces taches sont formées par un méat épidermique, recouvert seulement de cuticule non soulevée. A la face inférieure des feuilles de Nymphéacées, on trouve des organes spéciaux formés par un retrait circulaire des cellules de l'épiderme, et occupé par des granulations sous la cuticule; en comparant ces organes aux stomates de la face supérieure, on ne peut s'empêcher d'y voir des stomates avortés, des pseudostomates. Il faut remarquer que les poils uni- ou pluricellulaires sont beaucoup plus grands à leur base que les cellules de l'épiderme sur lequel ils sont nés, et que, dans le cas où ils présentent plusieurs cellules, la cloison de séparation de ces cellules est perforée d'une ouverture centrale.

Il est à remarquer aussi que la plupart des poils naissent sur les points de l'épiderme, qui sont en rapport avec le tissu à chlorophylle, tandis que les stomates sont en rapport avec les méats.

l'expérience de Bichat sur l'absorption des gaz putrides par la surface du bras et leur expulsion par le tube digestif. La peau, perméable aux gaz, paraît impropre à l'absorption des liquides. (Voy. *Élém. de physiologie* de Küss, rédigés par M. Duval-Jouve.)

Il y a d'ailleurs entre le développement de certains poils et celui des stomates des analogies que je me contente de signaler ici, et sur lesquelles je reviendrai plus loin.

Ces poils creux, ces villosités, ces pseudostomates, me semblent compléter le système dialyseur de la feuille pour l'acide carbonique et pour les autres gaz (oxygène, vapeur d'eau).

Leur rôle n'est cependant point essentiel, puisqu'un grand nombre de feuilles dont l'activité respiratoire est très-grande en sont complétement dépourvues.

§ 4.

DES GAZ DANS L'INTÉRIEUR DES VÉGÉTAUX ET DES SURFACES GAZEUSES INTÉRIEURES.

1° Considérations générales.

Un grand nombre d'observateurs ont étudié les gaz renfermés dans l'intérieur des plantes et leurs mouvements; mais ils se sont placés pour la plupart à des points de vue restreints. Souvent même on a confondu les mouvements de ces gaz avec la respiration cuticulaire; c'est à tel point que des physiologistes prennent encore aujourd'hui pour mesure de la *force vive* déployée par le végétal dans la disgrégation de l'acide carbonique, le nombre de bulles gazeuses qu'il dégage dans un temps donné, dans l'eau, lorsqu'on l'expose au soleil !

Hales (1) recouvrait d'un enduit la section supérieure d'un rameau qui traversait un récipient, et plongeait par son autre section dans un vase plein d'eau que renfermait le récipient. Il faisait le vide dans le réservoir, et voyait des bulles nombreuses s'échapper de la section inférieure; il en a conclu que l'air pénètre par les fissures jusque dans le bois. Il faut remarquer encore ici que ces différences de pression ne sont point dans la nature, et ne prouvent rien pour le fonctionnement normal. De Saussure a

(1) *Statical Essays*, t. I, p. 156.

aspiré l'air renfermé dans une branche de Pommier, et l'a analysé. Dutrochet a examiné l'air renfermé à diverses distances des feuilles. On doit à MM. Martins et Moitessier (1) des analyses de l'air des racines transformées en vessie natatoire des *Jussiæa repens* et *grandiflora*, ainsi que des cavités de l'*Aldrovandia*. M. Boussingault a répété les expériences de de Saussure (2). En 1841, Aimé (3) avait examiné les gaz renfermés dans les Algues marines. MM. Calvert et Ferrand ont étudié les gaz des gousses de Baguenaudier encore vertes, ainsi que des tiges creuses (*Heracleum*, *Archangelica*, Ricin, Dahlia, Roseau, etc.) (4). Ils croyaient pouvoir, de l'analyse de cet air, déduire des notions exactes sur la respiration des organes foliaires, et confondaient ainsi deux actes distincts, mais qui peuvent, dans les cavités vertes, mêler leurs produits. On doit aussi à MM. Faivre et Dupré d'intéressantes recherches, faites au moyen d'injections mercurielles, sur les gaz contenus dans les vaisseaux (5). J'ajouterai que Schultz a trouvé de l'azote presque pur et de l'acide carbonique dans les cavités des tiges d'Angélique, de *Rumex* et de certaines Graminées.

Réunissons ces divers résultats :

Aimé (Algues marines)		Az	83
		O	16
De Saussure (branche de Pommier)		Az	86
		O	9
		Acide carbon.	5
Boussingault (Laurier-rose)		Az	88
		O	6,64
		Acide carbon.	5,34
Martins et Moitessier.	*Jussiæa*	Az	84 à 92
		O	15 à 8
	Aldrovandia	Az	84,5
		O	15,5
	Pontederia crassipes	Az	85,9
		O	14,1

(1) *Mém. de l'Acad. des sc. de Montpellier*, 1866, t. VI.
(2) *Rech. chim. sur la végét.*, p. 42.
(3) *Ann. de chim. et phys.*, 1841.
(4) *Ibid.*, 1844.
(5) *Compt. rend.*, 1866, t. LXII, p. 778.

Dutrochet (1) (*Nupharluteum*).	Rhizome..........	Az.........	84
		O..........	16
	Racine...........	Az.........	82
		O..........	8
	Feuilles...........	Az.........	82
		O..........	18
Lechartier (2) (pétiole de *Nuphar luteum*)..........		Az.........	88
		O..........	12

Ce qui doit frapper surtout dans les nombres que nous venons de consigner, c'est une concordance remarquable entre ces résultats, si l'on tient compte des conditions différentes et des modes d'opération et d'extraction employés. La proportion d'azote dans toutes ces analyses, est supérieure à celle que présente l'air atmosphérique, et elle se rapproche sensiblement de celle qui résulterait du passage de l'air à travers de petites ouvertures, c'est-à-dire 79 $\sqrt{\frac{1,1057}{0,972}}$, ou de 84 à 85 pour 100. L'oxygène est souvent remplacé par une quantité équivalente d'acide carbonique qui doit varier avec l'époque, l'heure du jour, etc., et qui prouve l'existence de combustions intérieures.

J'ajoute, pour terminer cet aperçu général, que M. J. Sachs a donné dans son livre une place importante aux mouvements des gaz dans les plantes. Le physiologiste allemand attribue ici un grand rôle aux stomates, rencontrant ainsi juste, pour cette fois, ces organes servant, suivant lui, à toutes les fonctions des feuilles, respiration, évaporation, etc.

2° Respiration des plantes aquatiques submergées.

C'est surtout dans les plantes aquatiques submergées que cette atmosphère intérieure joue un rôle considérable, et influe sur la respiration cuticulaire. Cette atmosphère intérieure provient des gaz dissous dans l'eau et puisés probablement par les racines.

(1) *Mémoires pour servir à l'histoire anat. et phys. des végétaux*, t. II, 1837.
(2) *Compt. rend.*, 1867, t. LXV, p. 1087.

On se rappelle en effet que MM. Cloëz et Gratiolet ont constaté que les gaz dégagés par les Potamées contiennent beaucoup d'azote, dont la proportion dépend de celle de l'azote dissous dans l'eau.

On sait de plus que des feuilles jeunes de *Pontederia crassipes* restent au fond d'un vase plein d'eau jusqu'à ce que le pétiole soit gonflé de gaz, et amène la plante à la surface. Ce gaz (Az = 85,9, O = 14,1) ne peut provenir que de l'eau. Je m'en suis d'ailleurs convaincu en plaçant de jeunes feuilles dans de l'eau distillée; la vessie ne se développe alors que très-lentement, et la plante meurt avant d'être arrivée à l'air.

Ces gaz peuvent s'accumuler en quantité considérable, puisque, dans le *Pistia texensis* par exemple, Unger estime que sur 1000 parties, on en compte 713 de gaz. Doit-on s'étonner que de pareilles plantes laissent dégager plus d'azote que leur substance ne paraît en contenir? Ces gaz prennent une tension telle, qu'il suffit souvent d'un coup d'épingle pour déterminer par le point blessé un dégagement continu de bulles.

L'acide carbonique, qui entrerait difficilement par les petites ouvertures, pénètre largement par la cuticule, ainsi que le démontrent les expériences de Garreau, et s'évapore dans l'atmosphère intérieure comme dans le vide. Sous l'influence solaire, le parenchyme vert le décompose, et exhale de l'oxygène; mais ce dernier gaz étant moins soluble que l'acide carbonique, et se trouvant d'ailleurs dans un milieu qui en est plus ou moins saturé, ne pourra s'échanger aussi vite par la cuticule. L'oxygène s'accumulera donc en se mêlant à l'atmosphère intérieure, et finira par s'écouler avec elle par des fissures accidentelles de la tige et des feuilles.

De là des courants sans direction déterminée, qu'alimenteront l'action de la lumière, qui produit l'oxygène, et celle de la chaleur, qui augmente la tension. Il faut bien remarquer que, l'eau étant diathermane, la plante doit s'échauffer plus vite que le liquide.

Les premières bulles de ces courants gazeux doivent contenir de l'azote dû à l'air accumulé précédemment; puis la proportion

Dutrochet (1) (*Nuphar luteum*).	Rhizome	Az.	84
		O.	16
	Racine	Az.	82
		O.	8
	Feuilles	Az.	82
		O.	18
Lechartier (2) (pétiole de *Nuphar luteum*)		Az.	88
		O.	12

Ce qui doit frapper surtout dans les nombres que nous venons de consigner, c'est une concordance remarquable entre ces résultats, si l'on tient compte des conditions différentes et des modes d'opération et d'extraction employés. La proportion d'azote dans toutes ces analyses est supérieure à celle que présente l'air atmosphérique, et elle se rapproche sensiblement de celle qui résulterait du passage de l'air à travers de petites ouvertures, c'est-à-dire $79\sqrt{\frac{1,1057}{0,972}}$, ou de 84 à 85 pour 100. L'oxygène est souvent remplacé par une quantité équivalente d'acide carbonique qui doit varier avec l'époque, l'heure du jour, etc., et qui prouve l'existence de combustions intérieures.

J'ajoute, pour terminer cet aperçu général, que M. J. Sachs a donné dans son livre une place importante aux mouvements des gaz dans les plantes. Le physiologiste allemand attribue ici un grand rôle aux stomates, rencontrant ainsi juste, pour cette fois, ces organes servant, suivant lui, à toutes les fonctions des feuilles, respiration, évaporation, etc.

2° Respiration des plantes aquatiques submergées.

C'est surtout dans les plantes aquatiques submergées que cette atmosphère intérieure joue un rôle considérable, et influe sur la respiration cuticulaire. Cette atmosphère intérieure provient des gaz dissous dans l'eau et puisés probablement par les racines.

(1) *Mémoires pour servir à l'histoire anat. et phys. des végétaux*, t. II, 1837.

(2) *Compt. rend.*, 1867, t. LXV, p. 1087.

On se rappelle en effet que MM. Cloëz et Gratiolet ont constaté que les gaz dégagés par les Potamées contiennent beaucoup d'azote, dont la proportion dépend de celle de l'azote dissous dans l'eau.

On sait de plus que des feuilles jeunes de *Pontederia crassipes* restent au fond d'un vase plein d'eau jusqu'à ce que le pétiole soit gonflé de gaz, et amène la plante à la surface. Ce gaz (Az = 85,9, O = 14,1) ne peut provenir que de l'eau. Je m'en suis d'ailleurs convaincu en plaçant de jeunes feuilles dans de l'eau distillée; la vessie ne se développe alors que très-lentement, et la plante meurt avant d'être arrivée à l'air.

Ces gaz peuvent s'accumuler en quantité considérable, puisque, dans le *Pistia texensis* par exemple, Unger estime que sur 1000 parties, on en compte 713 de gaz. Doit-on s'étonner que de pareilles plantes laissent dégager plus d'azote que leur substance ne paraît en contenir? Ces gaz prennent une tension telle, qu'il suffit souvent d'un coup d'épingle pour déterminer par le point blessé un dégagement continu de bulles.

L'acide carbonique, qui entrerait difficilement par les petites ouvertures, pénètre largement par la cuticule, ainsi que le démontrent les expériences de Garreau, et s'évapore dans l'atmosphère intérieure comme dans le vide. Sous l'influence solaire, le parenchyme vert le décompose, et exhale de l'oxygène; mais ce dernier gaz étant moins soluble que l'acide carbonique, et se trouvant d'ailleurs dans un milieu qui en est plus ou moins saturé, ne pourra s'échanger aussi vite par la cuticule. L'oxygène s'accumulera donc en se mêlant à l'atmosphère intérieure, et finira par s'écouler avec elle par des fissures accidentelles de la tige et des feuilles.

De là des courants sans direction déterminée, qu'alimenteront l'action de la lumière, qui produit l'oxygène, et celle de la chaleur, qui augmente la tension. Il faut bien remarquer que, l'eau étant diathermane, la plante doit s'échauffer plus vite que le liquide.

Les premières bulles de ces courants gazeux doivent contenir de l'azote dû à l'air accumulé précédemment; puis la proportion

de cet azote doit aller en diminuant, à mesure que l'oxygène augmente. C'est ce qu'ont vu, sans se l'expliquer, MM. Cloëz et Gratiolet ; c'est aussi pourquoi l'air des Algues marines contient, d'après Aimé, 83 d'azote et 17 d'oxygène, tandis qu'on y trouve le soir 36 d'oxygène et 64 d'azote.

MM. Cloëz et Gratiolet, se basant sur une seule analyse, pensent que l'azote exhalé provient de la décomposition de la substance de la plante. Ils ont reconnu d'ailleurs que « *la présence de l'azote dans l'eau est nécessaire au phénomène* ».

La plante aquatique sur laquelle ils opéraient était placée dans une cloche pleine d'eau et exposée au soleil, c'est-à-dire à une pression inférieure à la pression atmosphérique, et à une température qui pouvait devenir considérable. Aussi d'une tige de 165 centimètres cubes de volume, ils ont pu tirer 2^{lit.},35 de gaz en dix heures !

J'ai souvent observé les *Potamogeton* à l'état normal, et je n'ai jamais vu se produire un dégagement d'une pareille abondance ; à peine se dégageait-il quelques bulles gazeuses d'une provenance équivoque, et cependant la plante que j'observais se développait avec beaucoup de rapidité.

J'ai élevé aussi pendant plusieurs années un *Lycopus europæus*, sur lequel j'ai suivi le phénomène respiratoire. Cette plante, aérienne l'été, émet à l'automne des stolons aquatiques qui restent submergés l'hiver, et produisent des feuilles différentes des feuilles normales. Dès le mois de février, l'émission de bulles gazeuses commence, souvent sur des parties mortes depuis longtemps, et l'abondance est en rapport avec la température, sans jamais dépasser quelques centimètres cubes par jour. J'ai pu analyser ce gaz, et je lui ai trouvé pour composition 92 d'azote et 8 d'oxygène.

Ainsi le dégagement gazeux des plantes aquatiques submergées ne reconnaît pas pour cause unique la dissociation de l'acide carbonique ; il est principalement dû à l'action de la chaleur sur des gaz *puisés par la plante dans le liquide*, et qui se meuvent par des différences de pression qui ne s'équilibrent qu'avec lenteur. Aussi la continuation de ce dégagement dans l'obscurité est

un phénomène simple qui n'exige aucun *emmagasinement de force vive*, et que Raffeneau-Delile avait constaté jusqu'à minuit sur le *Nelumbium*, sans s'en étonner outre mesure (1).

Ce dégagement gazeux n'a lieu que très-rarement dans les plantes à l'état naturel, et ne peut pas constituer une fonction ou un acte physiologique. Ces plantes sont dépourvues de stomates, parce que le dégagement de gaz, par de si petites ouvertures, exigerait une pression de plusieurs atmosphères, la surface de la plante étant mouillée par l'eau.

Quant à l'absorption de l'acide carbonique, elle doit se faire essentiellement par la cuticule. L'acide carbonique étant ici en dissolution et l'oxygène échangé devant se dissoudre à son tour dans le liquide, la *respiration cuticulaire* doit se faire ici sans dégagement de gaz à la surface où se produit l'échange. Il faudrait donc, pour se rendre un compte exact de cette fonction, pouvoir doser successivement l'acide carbonique et l'oxygène en dissolution. Malheureusement le dosage de l'oxygène dissous présente de grandes difficultés.

C'est donc seulement dans l'air, ou sur des feuilles qui peuvent retenir une couche d'air condensée, qu'il convient de rechercher le fonctionnement des stomates, et l'action des variations de pression intérieure ou extérieure sur leurs mouvements.

Il faut se garder aussi, je crois, des variations de pression de la *machine pneumatique*, trop chère aux physiologistes, et ne mettre en jeu que des pressions s'approchant des pressions naturelles, c'est-à-dire de quelques centimètres d'eau ou millimètres de mercure. Je ferai remarquer même que les insufflations avec la bouche seraient elles-mêmes exagérées, puisque M. J. Sachs nous apprend qu'il peut aller jusqu'à 10 centimètres de mercure, c'est-à-dire 1^{m},30 d'eau !

Pour réaliser ces conditions, j'engage une feuille de Ficaire par le pétiole dans un tube de verre, et, après l'avoir luté, je fais communiquer l'autre extrémité du tube, par un caoutchouc,

(1) *Évidence du mouvement respiratoire des feuilles de* Nelumbium speciosum (*Ann. sc. nat.*, 2ᵉ série, 1841, t. XVI, p. 328).

avec une poire à ventouse. Je puis ainsi, en pressant la poire avec la main, produire des compressions ou des succions de l'air intérieur.

Cela posé, je soumets à l'ombre la feuille à une pression intérieure légère, et, pendant qu'elle a lieu, je détache un lambeau de l'épiderme. Je trouve les stomates larges et béants.

Puis je remets une autre feuille en expérience, et, après l'avoir exposée au soleil, je diminue la pression ; alors je vois, sur un lambeau d'épiderme détaché, les petits pores fermés.

Il serait évidemment préférable de voir ces mouvements sur la feuille entière. Une forte loupe permet de voir les grands stomates de la Ficaire comme de petites boutonnières, et l'on peut distinguer les mouvements de la bouche, surtout s'il y a une faible couche d'eau qui permet de voir une brillante surface gazeuse à l'intérieur du stomate, quand on comprime l'air intérieur. Toutefois l'illusion est bien près de la réalité.

Voici encore une expérience plus concluante : A l'exemple de Hales (1), je prends un tube étroit, et j'engage à la partie supérieure un rameau de Laurier-cerise garni de feuilles. Le bord du tube est luté avec soin sur le rameau, tandis que la partie inférieure plonge dans le mercure. Au bout de plusieurs heures, le mercure est monté de 4 à 5 centimètres, indiquant ainsi une absorption de gaz sur laquelle nous aurons occasion de revenir plus loin, et une diminution de pression intérieure. Or, si la tige a été vernie (nous avons employé l'huile de lin lithargyrée) et si les feuilles sont bien intactes, *le mercure reste soulevé plus de trente heures*. Les stomates sont fermés, et ne laissent pas rentrer l'air, malgré la succion de la colonne de mercure (2).

Ajoutons que les stomates sont toujours béants lorsqu'on les observe après avoir laissé la plante au soleil ; la nuit, ils sont fermés. Dans les circonstances ordinaires, ils sont presque toujours dans un état de demi-occlusion. L'humidité les fait fermer, à moins qu'elle ne soit accompagnée d'une variation de pression

(1) *Statical Essays*, p. 155.

(2) Cette expérience est rapportée par M. J. Sachs.

intérieure ; je crois, de plus, que les variations du tissu treillagé inférieur, sous le rapport de l'humidité ou de la sécheresse, doivent avoir de l'influence sur les mouvements du pore.

On remarquera encore que les stomates dépassent souvent l'épiderme, et ont une forme bombée qui s'oppose à la rentrée de l'air. Dans les plantes où ils sont en apparence sur le même plan, les cellules épidermiques les débordent souvent en dessous. Les cavités des Lauriers-roses et des Protéacées sont rétrécies à la partie supérieure, et les premières sont garnies de poils qui ne laisseraient rentrer l'air que difficilement dans la cavité du crypte.

En un mot, les lèvres des stomates sont disposées comme celles d'une bouche, et l'on sait que lorsqu'on aspire par la bouche sans contractions orbiculaires, celle-ci se ferme naturellement.

Ainsi, *les stomates, dans les conditions normales, peuvent laisser sortir les gaz de l'intérieur lorsque la pression augmente ; mais ils ne peuvent laisser rentrer l'air dans les lacunes.*

Je dois ajouter que les grands stomates du disque des *Nelumbium* ne m'ont jamais paru fermés, qu'ils sont presque ronds et caducs, de sorte qu'ils manquent souvent au centre des grandes lacunes.

Il existe aussi des organes qui peuvent être rapportés à des stomates avortés et que j'ai appelés des pseudo-stomates ; on les trouvera à la face inférieure et sur la tige des Nymphéacées (*Nymphæa alba*). Ces organes débutent comme les stomates, mais la cloison ne se forme pas et ils restent imperforés. Il en est de même des stomates de la face supérieure d'un certain nombre de feuilles (feuilles d'Acanthe) et des taches blanches que présente la face supérieure de certaines Bégoniacées, et dans lesquelles on ne distingue que les formations épidermiques extérieures, les cellules stomatiques faisant défaut au-dessous de la cuticule.

3° Du mouvement de l'air dans le *Nelumbium speciosum*.

Les phénomènes singuliers que présente cette magnifique plante, les discussions auxquelles ils ont donné lieu, m'ont déterminé à profiter de mon séjour à Montpellier pour en faire une étude aussi approfondie que possible. On sait que cette belle espèce, introduite par Raffeneau-Delile, végète et fructifie en plein air dans le Jardin des plantes de cette ville, où elle trouve la chaleur et surtout la lumière qui lui sont nécessaires.

Comme toutes les plantes aquatico-aériennes, elle possède une tige ou rhizome enfoncé dans la vase et de longs pétioles qui se terminent par des feuilles peltées. Ces feuilles traversent l'eau pour se dérouler et se développer à l'air libre. Elles présentent au centre un disque cellulaire traversé par de très-grands méats que ferment incomplétement des stomates toujours béants ou même caducs, et faisant, par conséquent, souvent défaut.

Le pétiole est creux, comme celui des Nymphéacées ; il présente quatre grands canaux entourés d'un plus grand nombre de petits. Ces canaux viennent aboutir au disque central et se prolongent dans la feuille en 22 nervures qui divisent le limbe en autant de secteurs. De chaque côté de ces nervures courent des canaux aériens qui s'anastomosent à la surface de ce limbe et forment un vaste réseau sur lequel nous reviendrons tout à l'heure. La face inférieure de la feuille seule présente des stomates qui sont en rapport avec le réseau aérien.

Si l'on enfonce la feuille sous l'eau et à une petite profondeur, et si l'on a choisi une feuille exposée au soleil, on voit se dégager de la face supérieure garnie de stomates des bulles gazeuses qui offrent un aspect particulier : au lieu de se dégager sous forme de sphères gazeuses qui s'élèvent directement dans le liquide, elles s'étalent en plaques le long de la feuille comme un liquide huileux. Elles progressent jusqu'au bord de la feuille, et là disparaissent souvent sans se détacher, en se diffusant probablement dans la couche d'air de la face inférieure.

Si l'on place sur la feuille une cloche pleine d'eau, on peut ne recueillir aucune trace de gaz. C'est sans doute ce phénomène, dont l'explication, on vient de le voir, est assez simple, qui avait fait croire à Delile que l'air sortait par le disque central et rentrait par les bords de la feuille dépourvus de stomates (1).

On peut encore verser avec la main quelques gouttes d'eau au centre des feuilles bien développées et complétement aériennes qui forment bassin. Les bulles gazeuses s'échappent alors du disque, souvent avec un bruit sec comme une petite explosion.

Mais c'est surtout dans les chaudes journées des mois de juillet et d'août que le dégagement gazeux prend les plus fortes proportions. Si l'on a la force de résister à l'ardeur du soleil, on peut voir et entendre les bulles gazeuses qui se dégagent des parties immergées, des pétioles des feuilles détruites et qui sont restés plongés dans l'eau, des feuilles accidentellement immergées et des fissures que les insectes ou les mollusques produisent sur toutes les parties de la plante. Le dégagement gazeux peut être tel qu'il donne, dans les cuves contenant les plantes, l'aspect et le bruit d'un véritable bouillonnement. C'est par centaines de litres par minute qu'on pouvait estimer l'air qui s'échappait ainsi dans l'intérieur des cuves. Qu'on juge, d'après cela, du mouvement gazeux qui devait se produire dans toute la plante et par toute sa surface, et cela pendant plusieurs heures.

Delile, nous l'avons vu, pensait que le gaz rejeté ainsi était de l'air qui pénétrait par le contour dépourvu de stomates et qui s'exhalait par les stomates du disque central. Dutrochet a réfuté cette opinion, au nom de la respiration *cuticulaire* (2).

Un agrégé de l'école de Montpellier, M. Brousse, a fait sur cette prétendue respiration des recherches qui m'ont été communiquées par M. Martins, et qui n'ont été produites, je crois, que dans l'enseignement oral. M. Brousse pensait que cet air exhalé était puisé dans l'eau par les racines. Sous l'influence

(1) *Évidence du mode respiratoire des feuilles de* Nelumbium (*Compt. rend.*, 1841, et *Ann. sc. nat.*, 2ᵉ série, t. XVI, p. 328).

(2) *Ann. sc. nat.*, 2ᵉ série, 1841, t. XVI, p. 332.

de cette idée, il analysait l'air de l'eau et l'air exhalé par les feuilles. Le premier contenait 30 pour 100 environ d'oxygène, 5 ou 6 d'acide carbonique ; l'air exhalé contenait 20,4 d'oxygène, 79,6 d'azote et pas d'acide carbonique : d'où l'on concluait que le *Nelumbium* fixait à la fois de l'acide carbonique et de l'oxygène. M. Brousse aurait pu être frappé de l'identité presque complète de composition que présentait le gaz exhalé avec l'air atmosphérique.

Pour élucider cette importante question, j'ai fait les expériences suivantes :

1° J'ai constaté, avec Delile, que, lorsqu'on souffle par le pétiole, le limbe étant plongé dans l'eau, on obtient un dégagement rapide de gaz, ce qui a lieu du reste avec moins d'intensité pour beaucoup de végétaux aquatico-aériens ; mais j'ai fait de plus l'expérience inverse, que Delile ne paraît pas avoir essayée. Le pétiole étant plongé dans l'eau, j'ai soufflé par le disque, et j'ai obtenu un dégagement abondant ; ce que l'on n'obtient jamais avec les feuilles des autres plantes pour lesquelles la première expérience réussit.

2° En frottant la feuille avec la main ou une brosse douce, on rend la sortie de l'air par insufflation très-difficile. Ce phénomène indiqué d'ailleurs par M. Sachs, et qui se produit aussi avec les feuilles d'*Allium Cepa*, d'*Equisetum*, etc., tient à ce que cette action mécanique fait disparaître la couche d'air condensé à la surface de la feuille, grâce aux légères papilles cuticulaires que nous avons décrites.

Dans les conditions ordinaires, l'air insufflé se diffuse facilement dans cette couche gazeuse condensée, en prenant la forme de plaques argentées ; vient-on à enlever cette couche d'air, alors l'eau est en contact avec les ouvertures des stomates, et il se produit ces phénomènes d'occlusion des gaz par les corps poreux décrits déjà par M. Jamin. Qu'on prenne par exemple un vase poreux de Bunsen, qu'on le ferme par un bouchon bien mastiqué et traversé par un tube qui peut communiquer avec une pompe à compression et un manomètre. Si l'on fait agir la pompe, le vase étant sec, il ne maintient pas de pression. Si l'on trempe

ensuite le vase dans de l'eau pendant un instant seulement, il pourra dès lors maintenir une pression de plusieurs atmosphères.

On conçoit donc que les poumons les plus vigoureux, soutenant au plus 8 ou 10 centimètres de mercure, ne pourraient faire sortir des bulles gazeuses par les feuilles ou les tiges mouillées ou dépourvues de la couche d'air condensée.

3° Le dégagement des bulles gazeuses du *Nelumbium*, quand on plonge la feuille dans l'eau, cesse à une profondeur variable, mais toujours assez faible. Il en est de même du dégagement par les pétioles, quand on a détaché le limbe.

Il est certain, par conséquent, que la pression extérieure joue un rôle important dans le phénomène. On peut voir à quelle pression exacte cesse le dégagement en inclinant la feuille sous l'eau et mesurant la hauteur à laquelle les bulles cessent d'apparaître. Cette région limite forme une ligne horizontale bien nette. Dans les fortes journées de chaleur et de lumière, le dégagement se produit encore à une profondeur de 2 à 3 décimètres.

4° Le dégagement pouvant se produire à l'obscurité et jusqu'à minuit pendant les nuits d'été, ainsi que l'avait déjà vu Delile, la lumière n'est pas nécessaire au phénomène.

5° Pour recueillir ce gaz sous l'eau, je forme sous la feuille un cercle avec du mastic de vitrier mêlé de sable, et je recouvre ce cercle d'une petite cloche pleine d'eau. Les aspérités permettent aux bulles gazeuses de se dégager de la couche d'air condensée. J'ai trouvé ainsi que l'air dégagé par le disque contient moins d'oxygène que celui du limbe et plus d'azote. Ainsi :

10 *juin* 1871, 5 *heures du soir.*

Air du disque...	25cc	O...	24,3 p. 100.	Az...	75,7 p. 100.
Air du limbe...	18	O...	29,5	Az...	70,5

30 *juin* 1871, 11 *heures du matin.*

Air du disque...	22cc	O...	22,8 p. 100.	Az...	77,2 p. 100.
Air du limbe...	15	O...	33,4	Az...	66,6

constater, les observations de Dutrochet, qui trouvait plus d'oxygène dans les feuilles que dans le pétiole et la tige. Enfin, que la plante porte des feuilles ou qu'elle en soit dépourvue, il y a toujours dégagement, d'où M. Lechartier conclut que le gaz est puisé dans les couches vaseuses.

En employant la méthode qui nous a déjà servi pour le *Nelumbium*, c'est-à-dire en introduisant le pétiole coupé au-dessus de l'eau dans une cloche pleine de liquide, de manière à exercer une succion, j'ai pu recueillir un demi-litre de gaz en quelques minutes; mais le mouvement, d'abord très-rapide, se ralentit, et le dégagement ne se fait plus que par petites bulles et avec une extrême lenteur. J'ai trouvé, le 20 juin 1871 : Az = 87,5, O = 12,5.

Ces dégagements de gaz par des sections du pétiole me semblent prouver seulement que l'atmosphère intérieure était arrivée à une tension plus grande que celle de l'atmosphère extérieure, et je ne crois pas qu'on puisse en conclure à l'existence de mouvements gazeux de même sens dans la plante entière, ainsi que l'ont fait M. Lechartier et d'autres observateurs.

Si la feuille des Nymphéacées ne laisse pas dégager de gaz lorsqu'elle est plongée dans l'eau, elle en produit néanmoins beaucoup dans l'air. Pour m'en assurer, j'ai placé la feuille, sans la toucher, sous une cloche à robinet pleine d'air. J'ai enfoncé la cloche, le robinet étant ouvert; une partie de l'air a été ainsi chassée. J'ai fermé ensuite le robinet, et, la cloche ayant été soulevée, j'ai produit une succion de 15 centimètres environ. Le niveau ayant été marqué sur la cloche, on l'a vu s'abaisser d'abord rapidement, puis plus lentement, de sorte que trois heures après le niveau était redevenu le même qu'à l'extérieur. On a alors enfoncé la cloche de manière à produire une pression égale à la succion précédente, et le niveau est resté à peu près invariable pendant le même laps de temps, contrairement à ce que nous avons vu pour le *Nelumbium*.

Ainsi, dans les Nymphéacées, les stomates, dans l'air et pour de faibles variations de pression, laissent sortir les gaz intérieurs et ne permettent pas à l'air de rentrer.

Quant à l'air dissous dans l'eau, il n'aurait pu produire une si abondante dialyse. Il faut même remarquer que les racines aquatiques sont peu nombreuses dans le *Nelumbium*, surtout si on les compare à celles des *Jussiœa*, *Pontederia*, *Nymphœa*, etc. Comme en insufflant le limbe j'ai pu faire sortir de l'air par le pétiole, ainsi que je l'ai dit plus haut, et que d'autre part le rhizome lui-même est creux, j'ai soupçonné un simple jeu de la pression atmosphérique compliqué de phénomènes de diffusion par les petites ouvertures.

Plusieurs expériences m'ont prouvé qu'il en était ainsi :

1° J'ai choisi deux feuilles voisines l'une de l'autre, et, ayant détaché le limbe de l'une d'elles pendant que l'autre plongeait dans l'eau, j'ai fait sortir de l'air de celle-ci en soufflant par le pétiole de la première.

2° En second lieu, j'ai recouvert une feuille d'une cloche pleine d'air, et j'ai pu, par une compression continue, faire passer l'air de cette cloche à l'extérieur, à travers la plante. Une feuille voisine étant plongée dans l'eau, on voyait des bulles gazeuses se détacher en abondance de sa surface pendant la compression de l'air de la cloche.

3° Enfin, comme dernière expérience capitale, si, pendant que l'air est aspiré par une feuille sous une cloche pleine d'eau, on fait plonger par des aides toutes les autres feuilles dans l'eau, l'écoulement, d'abord abondant, se ralentit et cesse tout à fait. Les feuilles étant lâchées et revenant à la surface, l'écoulement reprend, pour cesser à une nouvelle immersion.

J'ai analysé l'air recueilli dans ces faibles aspirations, et j'ai trouvé :

13 *juin, matin.*

Az.............	82,9 p. 100.	O.............	17,1

14 *juin, soir.*

Az.............	76 p. 100.	O.............	24

15 *juin, matin.*

Az.............	79 p. 100.	O.............	21

15 *juin* (*grand bassin*).

Az.............	87 p. 100.	O.............	13

20 *juin, soir*.

Az.............	78 p. 100.	O.............	22

Dans d'autres expériences, toutes les feuilles étant enfoncées, j'ai pu puiser l'air qui avait séjourné longtemps dans la plante :

		25 *juin, matin*.			
Az........	87	O........	10	CO^2.......	3
		25 *juin, soir*.			
Az........	76	O........	14	CO^2.......	traces.
		28 *juin, matin*.			
Az........	83	O........	15	CO^2.......	2
		28 *juin, soir*.			
Az........	78	O........	22	CO^2.	

Il suit de la première série que l'azote est presque toujours en plus grande proportion que dans l'air, ce qui est d'accord avec les lois de la diffusion des gaz par les petites ouvertures, et de la seconde que l'air confiné contient, au matin plus d'azote, et le soir plus d'oxygène.

Les nombreuses expériences contenues dans ce chapitre nous semblent de nature à expliquer d'une manière précise la prétendue respiration du *Nelumbium*. La feuille de cette plante s'échauffe en effet beaucoup au soleil. D'après M. Martins (1), un thermomètre roulé dans une feuille au soleil marque 31°,37 en moyenne, quand un thermomètre libre et aussi au soleil donne comme moyenne 25°,46 ; à l'ombre, le thermomètre de la feuille donne 20°,97 pour 19°,88 que marque le thermomètre libre.

Il résulte, pour les feuilles exposées et pour celles qui sont à l'ombre, une différence de tension dans les gaz intérieurs qui peut

(1) *Note sur la somme de chaleur efficace nécessaire à la floraison du* Nelumbium speciosum (*Bull. Soc. bot. de France*, t. IV, p. 652).

être considérable et beaucoup plus grande que celles que nous avons mises en jeu dans nos expériences. De là un mouvement circulatoire de l'air entrant *par les stomates de certaines feuilles, sortant par d'autres*, à travers le réseau aérien de la feuille et les canaux du pétiole et de la tige, et dont le sens pourra varier suivant la différence des pressions intérieures.

Remarquons enfin que ces mouvements gazeux ne sont possibles que parce que les stomates sont ici inertes ou caducs, surtout dans la région du disque, et qu'il n'y a jamais de dégagement gazeux par la face inférieure du limbe dépourvu de stomates.

§ 5.

DES MOUVEMENTS DE L'AIR DANS LES AUTRES PLANTES AQUATICO-AÉRIENNES.

Les analogies entre les Nymphéacées et les Nélumbonées, la présence dans les premières des canaux aérifères que nous avons signalés dans les pétioles et les limbes des secondes, nous faisaient un devoir de tourner vers elles nos recherches.

Les feuilles du *Nymphœa alba* que j'ai examinées, plongées dans l'eau, ne laissent échapper aucun gaz, parce qu'elles sont dépourvues de villosités cuticulaires, et, par conséquent, d'air condensé. Toutefois, si l'on coupe le pétiole dans l'eau, il s'en échappe un courant gazeux d'assez longue durée. M. Lechartier (1) a observé ce dégagement; il a obtenu dans quarante-cinq minutes un litre et demi de gaz. Ce gaz avait pour composition : O = 12, Az = 88. Le recueillant à diverses profondeurs, il a trouvé la composition suivante :

CO^2	1	3	2,5
O	7,7	8,1	8,2
Az	91,3	88,9	89,3

M. Lechartier trouve ainsi plus d'acide carbonique dans la tige que dans le pétiole. Il n'a pas confirmé, ainsi qu'on peut le

(1) *Compt. rend.*, 1867.

constater, les observations de Dutrochet, qui trouvait plus d'oxygène dans les feuilles que dans le pétiole et la tige. Enfin, que la plante porte des feuilles ou qu'elle en soit dépourvue, il y a toujours dégagement, d'où M. Lechartier conclut que le gaz est puisé dans les couches vaseuses.

En employant la méthode qui nous a déjà servi pour le *Nelumbium*, c'est-à-dire en introduisant le pétiole coupé au-dessus de l'eau dans une cloche pleine de liquide, de manière à exercer une succion, j'ai pu recueillir un demi-litre de gaz en quelques minutes; mais le mouvement, d'abord très-rapide, se ralentit, et le dégagement ne se fait plus que par petites bulles et avec une extrême lenteur. J'ai trouvé, le 20 juin 1871 : Az = 87,5, O = 12,5.

Ces dégagements de gaz par des sections du pétiole me semblent prouver seulement que l'atmosphère intérieure était arrivée à une tension plus grande que celle de l'atmosphère extérieure, et je ne crois pas qu'on puisse en conclure à l'existence de mouvements gazeux de même sens dans la plante entière, ainsi que l'ont fait M. Lechartier et d'autres observateurs.

Si la feuille des Nymphéacées ne laisse pas dégager de gaz lorsqu'elle est plongée dans l'eau, elle en produit néanmoins beaucoup dans l'air. Pour m'en assurer, j'ai placé la feuille, sans la toucher, sous une cloche à robinet pleine d'air. J'ai enfoncé la cloche, le robinet étant ouvert; une partie de l'air a été ainsi chassée. J'ai fermé ensuite le robinet, et, la cloche ayant été soulevée, j'ai produit une succion de 15 centimètres environ. Le niveau ayant été marqué sur la cloche, on l'a vu s'abaisser d'abord rapidement, puis plus lentement, de sorte que trois heures après le niveau était redevenu le même qu'à l'extérieur. On a alors enfoncé la cloche de manière à produire une pression égale à la succion précédente, et le niveau est resté à peu près invariable pendant le même laps de temps, contrairement à ce que nous avons vu pour le *Nelumbium*.

Ainsi, dans les Nymphéacées, les stomates, dans l'air et pour de faibles variations de pression, laissent sortir les gaz intérieurs et ne permettent pas à l'air de rentrer.

Je me suis assuré, depuis que ces premières expériences ont été faites, en remplissant la cloche d'azote pur et d'hydrogène, que le gaz ainsi rejeté par la plante, le matin, était de l'azote avec 5 à 6 pour 100 d'oxygène. Le soir, la proportion d'oxygène est plus grande, mais ne dépasse jamais 25 à 28 pour 100.

M. Jamin, dans son excellent traité élémentaire de physique, pour prouver l'énergie de l'action des feuilles, rapporte qu'une seule feuille de Nénuphar abandonne pendant l'été jusqu'à 300 litres d'oxygène (1). S'il en était ainsi, c'est par milliers de litres qu'il faudrait compter l'oxygène rejeté par un seul pied de Nénuphar, et l'on aurait ainsi une source des plus abondantes de gaz oxygène. Il est à craindre qu'on ait confondu encore ici l'exhalation des gaz intérieurs avec la respiration cuticulaire.

M. Jamin ajoute : « C'est par la face supérieure que les feuilles » absorbent l'acide carbonique, tandis que l'oxygène s'échappe » par la face inférieure. » Nous ignorons les faits sur lesquels le savant physicien appuie cette opinion, et nous ne citons ce passage que pour faire encore ressortir l'incertitude qui règne sur la nature et les causes des échanges gazeux entre la plante et l'air.

Pour opérer sur des plantes où la feuille est trop au-dessus du niveau de l'eau pour que la méthode précédente soit applicable, j'ai fait faire des cuves de zinc formées de deux parties qu'on peut réunir par un corps gras ou du mastic, et dont chaque partie porte au centre une échancrure semi-circulaire. En réunissant les deux parties à une hauteur suffisante de la tige, on peut emprisonner la feuille après avoir luté avec soin l'ouverture centrale. J'ai ainsi opéré sur le *Pontederia cordata*, *Sagittaria lanceæfolia*, *Thalia dealbata*. En général, on réussira à aspirer les gaz intérieurs par les feuilles *plongées dans l'air*, lorsqu'on pourra, avec un fragment de pétiole, faire sortir l'air en soufflant par une extrémité, l'autre étant plongée dans l'eau. Avec les plantes que je viens de citer, on peut même faire sortir quelques bulles par les feuilles plongées dans l'eau en soufflant par

(1) *Petit Traité de physique*, 1870, p. 624.

le pétiole (1). L'expérience réussit encore mieux si l'on a eu soin de répandre du sable fin à la surface de la feuille. Le *Thalia dealbata* donne des plaques gazeuses comme le *Nelumbium*, mais le dégagement est toujours faible et incertain. Ainsi, je le répète, c'est dans l'air seul qu'il convient d'étudier l'émission gazeuse par les stomates.

Enfin, j'ai refait, en la modifiant un peu, l'expérience de Hales, avec des feuilles de *Pontederia cordata* et de *Sagittaria lanceæfolia*. La feuille s'engage, par en bas, dans un tube plein d'air dressé sur la cuve à mercure, et par en bas dans la cuve à eau à ouverture centrale. A l'aide d'une cloche pleine d'acide carbonique qui recouvre le limbe, on aspire lentement l'air du tube, et l'on voit le mercure monter dans ce tube que l'on enfonce peu à peu pour que la pression soit constante. On absorbe ensuite l'acide carbonique par la potasse pour analyser le résidu. J'ai pu ainsi, au bout de cinq heures et par de légères pressions, obtenir un résidu de 30 centimètres cubes contenant 95 p. 100 d'azote, tandis que l'air du tube n'avait diminué que de 25 centimètres. Ayant analysé 25 centimètres cubes de l'air qui restait, nous lui avons trouvé 25,5 pour 100 d'oxygène et 74,5 d'azote. L'excès de volume du résidu est de l'azote provenant probablement des gaz enfermés dans les feuilles.

M. J. Sachs (2) avance, mais sans preuve, que dans l'expérience de Hales, c'est de l'oxygène qui a disparu, et que cet oxygène a été absorbé pour servir à des combinaisons intérieures ; nos expériences nous ont amené à des résultats tout différents.

Dans ces expériences, il arrive souvent que la feuille se flétrit rapidement lorsqu'elle est détachée de la plante, ce qui peut nuire à l'expérience. J'ai eu l'idée d'opérer sur la feuille adhérente à la tige. A cet effet, j'engage dans le pétiole un tube de verre que je lute avec soin, et qui pourra, à l'aide d'un caout-

(1) L'expérience réussit très-bien avec des feuilles de *Typha angustifolia* ou *latifolia*. En détachant une feuille vers la base et soufflant par cette section, tandis que le reste est dans l'eau, le dégagement est aussi abondant, en proportion, que pour le *Nelumbium*.

(2) Page 283.

chouc, faire communiquer l'intérieur de la plante avec des récipients garnis de différents gaz. Le tube pourra s'engager dans le pétiole au-dessous même du niveau de l'eau de la cuve qui contient la plante. En produisant une aspiration, en soulevant une cloche pleine d'air dans laquelle s'engage la feuille, on peut faire passer à travers la feuille des gaz différents : air, oxygène, acide carbonique, hydrogène. Et en marquant le point où parvient le niveau de la cloche au bout d'une heure, on constate que les gaz ont, à travers ce diffusiomètre naturel, des vitesses de passage très-différentes et d'autant plus grandes qu'ils sont moins denses.

Si l'on couvre d'une couche de vernis la face supérieure de la feuille, seule garnie de stomates, le passage des gaz devient insensible.

Ces *injections gazeuses* me paraissent bien concluantes pour le rôle des stomates.

§ 6.

DES ORGANES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE DANS LES PLANTES AQUATICO-AÉRIENNES ET DE LEURS RAPPORTS AVEC LES STOMATES.

Tout le monde est d'accord que les cavités intérieures servent à loger des gaz et à aider à des mouvements accidentels ; mais en général les botanistes semblent ne voir là que des particularités d'organisation d'une importance secondaire. Il me semble au contraire que dans les plantes aquatiques dont les feuilles seules ou les fleurs viennent flotter à la surface, cette circulation gazeuse présente une importance qu'elle ne peut pas avoir dans les plantes aériennes toujours saturées de l'air ambiant.

Dans les Nélumbonées, la circulation aérienne a pour organes un système de vaisseaux aériens anastomosés dans l'intérieur de la feuille. J'ai injecté ces canaux avec du mercure. Pour cela, j'engage le pétiole dans la partie inférieure d'un entonnoir, ou bien je le fais communiquer avec l'entonnoir avec un tube de caoutchouc ; puis je verse du mercure dans l'entonnoir en tenant

la feuille en bas. On peut voir alors par transparence le mercure pénétrer comme un filet noirâtre dans les nervures, se répandre dans tout le réseau en chassant l'air devant lui ; enfin, des dernières mailles du réseau partent de petits canaux qui se relèvent brusquement pour aboutir aux stomates. Le mercure ne s'écoule pas, d'ailleurs, par les stomates et ne fait qu'apparaître au-dessous de l'ouverture. La feuille devient naturellement plus lourde, et l'augmentation du poids divisé par 13,6, densité du mercure, permet de se faire une idée du volume de ce système aérien, qui ne dépasse pas, dans les plus grandes feuilles, 4 ou 5 centimètres cubes.

Les grandes nervures de la feuille sont munies de chaque côté d'un canal aérien, tandis qu'au centre de la nervure on voit d'énormes vaisseaux trachéens qui sont exempts de mercure.

Les parois de ces canaux sont garnies d'un tissu cellulaire à petites cellules au-dessous desquelles on voit par transparence les vaisseaux laticifères qui paraissent jouer un très-grand rôle dans la vie de ces plantes. On trouve aussi sur ces canaux intérieurs des poils ou plutôt des glandes dont le sommet est hérissé de cristaux. Dans la plante âgée, ces cristaux, de forme pyramidale constante, tapissent toute la paroi du canal.

J'ai essayé des mêmes injections dans les feuilles des Nymphéacées. Dans le *Nymphœa alba*, le réseau aérien existe et se voit très-bien à la face inférieure de la feuille ; seulement les parois, au lieu d'être rectilignes, paraissent festonnées sur leurs bords, ce qui peut tenir à la finesse des parois et à la pression du mercure.

Dans le *Nuphar luteum*, les canaux forment un réseau plus étroit. Je ferai remarquer encore que ces canaux sont garnis, comme ceux des Nélumbonées, de glandes spéciales qui se tapissent aussi de cristaux.

Dans les autres plantes aquatico-aériennes, nous trouvons un système de diffusion gazeuse différent du précédent, mais plus complet encore. Ainsi, si l'on ouvre le pétiole de *Pontederia cordata*, on trouve de grandes cavités centrales séparées par des cloisons horizontales, et à la périphérie des cavités plus

petites dont les parois verticales sont formées par des cloisons dont les unes sont concentriques et les autres rayonnantes comme des rayons médullaires. Les cloisons et les parois verticales sont formées par un tissu cellulaire serré, tandis que les cloisons horizontales sont formées de cellules dont les bords forment par leur retrait de jolis méats destinés à donner passage aux gaz. Si l'on enlève l'épiderme inférieur du limbe, on voit la constitution du pétiole se continuer dans la feuille, et le mésophylle est constitué par des cavités régulières qui sont séparées latéralement par du tissu cellulaire dense, tandis qu'elles communiquent entre elles en série linéaire par de petites cloisons à méats cellulaires. Or, si l'on observe les stomates sur la face supérieure, on voit qu'ils sont rangés en série linéaire au centre de grandes cellules épidermiques séparées par deux rangées de cellules plus petites, chaque stomate correspondant au centre d'une cavité intérieure. Les nervures de la feuille ne sont ici que le prolongement des cloisons verticales du pétiole.

Dans le *Sagittaria lanceæfolia*, le *Thalia dealbata*, la disposition intérieure est plus complexe. Les canaux aériens deviennent plus petits, mais les méats des cloisons horizontales sont plus grands. Dans le *Thalia dealbata*, les cellules deviennent même étoilées. On retrouve ces cloisons transversales dans le pétiole court et renflé, ainsi que dans les feuilles du *Pontederia crassipes*, dans les feuilles de l'*Aponogeton*, etc., et l'on peut avoir ainsi toutes les transitions entre le tissu cellulaire ordinaire et les grandes cellules qui constituent les cloisons transversales des vessies natatoires des *Jussiæa repens* et *grandiflora*.

Les *Typha latifolia* et *angustifolia* ne sont dans toutes leurs parties, rhizome et feuilles, qu'un vaste appareil à diffusion gazeuse ; la feuille du *T. latifolia* présente à la section sept cavités formées par des cloisons verticales et transversales, ces dernières présentant seules des méats. Les chambres pneumatiques ainsi formées sont munies d'un groupe de stomates qui manquent complétement sur l'épiderme des cloisons. C'est grâce à ce groupement de stomates que l'on peut faire sortir l'air en abondance en soufflant par la section du pétiole, et que l'on peut

répéter avec ces plantes les expériences que nous avons indiquées avec le *Nelumbium*. On pourra constater ici que la quantité de gaz qui sort de chaque cavité est proportionnelle au nombre de stomates et plus grande pour les cavités du milieu de la feuille que pour celles des bords.

Cette circulation gazeuse me paraît avoir dans les plantes aquatico-aériennes une importance exceptionnelle. Ces plantes, en effet, plus encore que les plantes aériennes, vivent pour ainsi dire à l'intérieur, et la présence de l'air dans les cavités de la plante explique l'abondance des sacs à raphides sur les cloisons transversales des *Pontederia*, des *Thalia*, des *Aponogeton*, etc., ainsi que des poils glanduleux et des cristalloïdes que nous avons signalés dans les cavités des Nymphéacées et des Nélumbonées. Il est à remarquer aussi que les canaux laticifères, si nombreux et donnant un suc si abondant dans les Nélumbonées, se trouvent immédiatement au-dessous de l'épiderme des canalicules aériens, de sorte qu'il est probable que cette circulation d'air a une influence sur le développement du latex et sa circulation.

Mais d'où vient cet air et quel est le sens de son mouvement? Dutrochet supposait, comme nous l'avons vu, que dans les Nymphéacées le mouvement s'effectuait des feuilles vers les racines. Il se base sur ce que l'air puisé dans les feuilles lui avait paru plus riche en oxygène que celui du pétiole et du rhizome.

MM. Martins et Moitessier (1) partagent cette manière de voir pour les gaz qui remplissent les vessies natatoires des *Jussiæa repens* et *grandiflora*. Ils s'appuient sur ce que la composition de cet air s'est trouvée la même dans deux expériences: l'une dans l'eau courante, l'autre dans l'eau stagnante; tandis que la composition de l'air dissous dans les eaux était très-différente. Il convient de remarquer toutefois que dans les deux expériences l'air renfermé dans les vessies est moins riche en oxygène que l'air dissous dans l'eau.

M. Lechartier ayant vu des pétioles de Nymphéacées dégager des bulles gazeuses, toutes les feuilles étant plongées dans l'eau,

(1) *Loc. cit.*, p. 19.

pense que ces gaz sont puisés dans la vase par les racines. La grande différence de composition entre les gaz de la vase et ceux que dégagent ces plantes me semble rendre cette opinion peu admissible.

Quant à l'opinion de Dutrochet, elle n'a été justifiée par mes expériences que pour le *Nelumbium*, puisque c'est la seule plante pour laquelle il m'a été possible de faire entrer directement de l'air dans la feuille par une légère pression extérieure. Quant à la plus grande proportion d'oxygène dans le limbe, j'ai constaté au contraire que, dans les feuilles de *Pontederia*, de *Typha*, etc., les chambres pneumatiques ne renferment que de l'azote presque pur.

Je crois que les plantes puisent, pour la plupart, cet air intérieur dans l'eau elle-même : les *Pontederia crassipes*, en effet, se gonflent d'air lorsqu'on les tient entièrement plongés dans l'eau et en l'absence de toute vase au fond de la cuve qui les contient. Les racines en forme de vessies des *Jussiæa* se regonflent aussi dans l'eau lorsqu'on les a comprimées avec les doigts pour faire sortir l'air, et cela en l'absence de toute feuille ou partie aérienne. Cette expérience réussit aussi avec le *Pontederia crassipes*. M. Martins a trouvé sur les *Jussiæa* trois sortes de racines, les unes ordinaires, les secondes à tissu cellulaire plus lâche, et enfin les vessies natatoires (1).

Les deux premiers types se retrouvent dans presque toutes les plantes aquatico-aériennes. Les premières, ou racines ordinaires, s'enfoncent dans la vase et sont munies de nombreuses fibrilles. Les secondes se présentent toujours gorgées d'air. En les coupant sous l'eau, on en fait sortir des bulles gazeuses. Elles n'ont point de fibrilles, ne sont pas recouvertes d'épiderme et sont traversées dans leur axe par une trachée non ramifiée. L'extrémité de cette trachée est protégée par une coiffe ou piléorrhize. Quant au tissu cellulaire qui entoure la trachée centrale, il est généralement lacunaire et très-propre à l'exhalation gazeuse.

(1) *Mémoire sur les racines aérifères du genre* Jussiæa (*Acad. sc. Montpellier*, 1866, t. VI, p. 353).

J'ai observé dans le *Nymphæa alba* ce tissu extérieur formé de longues cellules, ou plutôt de fibres plissées comme le gros intestin, le long de bandelettes centrales. Il s'ensuit, pour deux cellules voisines, des méats en chapelets qui peuvent donner passage aux gaz et non aux liquides.

Les gaz en dissolution dans l'eau seraient ainsi extraits physiquement du liquide par de véritables branchies aquatiques. Ces racines sont très-nombreuses dans les Cypéracées, Typhacées, etc. Elles manquent dans les Nélumbonées, qui n'empruntent qu'à l'atmosphère leur gaz intérieur.

On sait que les plantes aquatiques désaèrent l'eau au point de la rendre quelquefois inhabitable pour les animaux qui y vivent. M. Dehérain (1) a fait à ce sujet des observations intéressantes. Quant au phénomène physique en lui-même, il me paraît comparable à l'action que les corps poreux ou des faisceaux de fils de chanvre ou de fils métalliques très-fins exercent sur les dissolutions gazeuses. Si, à l'exemple de M. Boutan (2), on plonge un faisceau de fils de platine très-fins dans l'eau, dont on élève la température et si, après un certain temps, on projette l'image grossie de ces fils après les avoir retirés du liquide, on les voit hérissés de bulles gazeuses dues à l'air en dissolution dans l'eau.

Ces gaz, puisés par les racines, seraient nécessairement à une pression supérieure à celle de l'atmosphère et viendraient s'accumuler dans le rhizome, qui est ordinairement poreux et gorgé en effet de gaz. De là ils se répandraient dans le pétiole et dans le limbe de la feuille, où les stomates serviraient à leur mouvement naturel.

(1) *Ann. sc. nat.*, 5e série, IX, p. 967, et *Annuaire scientifique*, 1869.

(2) Conférences *sur l'ebullition* faites à la Sorbonne (*Revue des cours scientifiques*, 1865).

§ 7.

DES GAZ DANS LES PLANTES AÉRIENNES.

Parmi les plantes aériennes, un grand nombre ont des cavités souvent protégées de l'extérieur par des téguments épais ou par une cuticule siliceuse, comme les Graminées, dont un grand nombre sont marécageuses et se rapprochent des plantes aquatico-aériennes. L'air de ces cavités étant, en grande partie, de l'azote, et les cloisons étant souvent poreuses, comme le prouve l'insufflation, on conçoit que ce que nous venons de dire leur soit applicable. Il n'en est pas tout à fait de même des plantes aériennes sans cavités déterminées.

Cependant nous avons vu que de Saussure a extrait de l'air d'un Pommier, et M. Boussingault d'un Laurier-rose.

C'est surtout l'air contenu dans les feuilles pourvues de stomates qui nous intéresse. Pour connaître la composition de cet air, j'ai extrait, par le procédé que j'ai déjà indiqué pour le *Pontederia*, l'air des feuilles d'*Arum Dracunculus* et des feuilles de Ficaire. J'ai obtenu les résultats consignés dans le tableau suivant :

Feuilles d'*Arum Dracunculus*.

5 juin 1868. — Tempér. maxim., 27 degrés.

Matin, 3 *cent. cub.*

Après potasse.........	2,9 (0,03 d'acide carbonique).
Après phosphore.......	2,9 (pas d'oxygène).

Soir, 2^{cc},3.

Après potasse.........	2,3 (pas d'acide carbonique).
Après phosphore.......	2,1 (0,08 d'oxygène).

12 mai 1869. — Tempér. maxim., 24 degrés.

Matin, 6^{cc},5.

Après potasse.........	6,3 (encore 0,03 environ d'acide carbonique).
Après phosphore.......	6,3 (pas de diminution).

Soir, 4^{cc},3.

Après potasse......... 4,3
Après phosphore....... 3,8 (0,1 d'oxygène).

Feuilles de *Ficaria*.

10 mai 1869. — Tempér. maxim., 22 degrés.

Matin, 3^{cc},2.

Après potasse......... 3,1 (2 à 3 centièmes d'acide carbonique).
Après phosphore....... 3,1 (pas de diminution sensible).

Soir, 2^{cc},5.

Après potasse......... 2,5 (pas de diminution).
Après phosphore....... 2,35 (0,06 d'oxygène).

15 mai 1869. — Tempér. maxim., 25 degrés.

Matin, 2^{cc},4.

Après potasse......... 2,3 (0,04 d'acide carbonique).
Après phosphore....... 2,3 (pas de diminution).

Soir, 3 *cent. cub.*

Après potasse......... 3_{cc}
Après phosphore....... 2,7 (0,1 d'oxygène).

Ainsi, l'air des feuilles, autant que des expériences aussi délicates permettent de conclure, contient ordinairement de l'acide carbonique le matin, de l'oxygène le soir. C'est pourquoi une feuille insolée peut faire luire le phosphore dans l'azote à l'obscurité *avec une diminution de pression*.

J'ai voulu rechercher en même temps comment variait, dans les mêmes conditions, l'air de la tige colorée de l'*Arum Dracunculus* :

2 *juin*. — *Matin*, 8 *cent. cub.*

Après phosphore....... 6,8 (85 p. 100 Az.).
Après potasse.......... 6,78 (traces d'acide carbonique).

Soir, 10_{cc},2.

Après phosphore....... 8,2 (80 p. 100 Az.).
Après potasse.......... 7,8 (3 p. 100 CO_2).

D'après cette expérience, qui est, il est vrai, isolée, l'air de la

tige contient, à l'inverse de la feuille, de l'acide carbonique le soir et des traces seulement de cet acide le matin.

M. Boussingault (1), en extrayant les gaz des organes foliacés par l'ébullition dans le vide, a trouvé uniquement de l'azote et de l'acide carbonique. Quoi qu'il en soit, on peut dire que l'azote prédomine dans les feuilles.

Les plantes aériennes laissent échapper de l'azote dans un grand nombre de circonstances, et la plupart des physiologistes qui se sont occupés de la respiration des organes foliacés des arbustes ou des arbres ont constaté un résidu de ce gaz. De Saussure avait signalé un dégagement considérable d'azote dans la respiration des Pervenches. M. Boussingault l'attribue, à tort, je crois, à l'eau dans laquelle se faisaient les observations. M. Lory a trouvé de l'azote en quantité notable dans les gaz expirés par les Orobanches.

Enfin, il suffit de jeter les yeux sur les résultats des dernières expériences de M. Boussingault (2) lui-même pour constater qu'il y a toujours excès d'azote même avec des feuilles détachées de la plante ; aussi le célèbre observateur parle-t-il de l'*atmosphère confinée ou latente de la plante.*

Dans des recherches longues et laborieuses entreprises dès 1868 et 1869, j'avais essayé, en copiant la méthode de M. Boussingault, de rechercher les conditions de cette exhalation d'azote par les plantes aériennes. Je ne retiens aujourd'hui de ces expériences que celles dont les résultats me paraissent les plus importants. Je ne saurais trop faire remarquer, en effet, que si la méthode qui consiste à détacher des feuilles vivantes de la plante pour les porter dans des atmosphères artificielles peut donner de bons résultats, quand il s'agit de la respiration cuticulaire, qui est un phénomène local, il n'en est pas de même de l'exhalation des gaz intérieurs, qui doit être liée avec l'état de la pression dans toute la tige.

La feuille, exposée au soleil dans cet air limité, exhale beau-

(1) *Agronomie, etc.*, 2e édit., p. 378.
(2) *Ann. phys. et chim.*, 1868.

coup de vapeur d'eau, et si l'on remplace les feuilles coriaces dont on se sert par des feuilles molles et à méats cellulaires considérables, on trouve, après plusieurs heures d'exposition, la feuille dans un état tel, qu'il me paraît difficile de tirer de ces expériences des déductions physiologiques sérieuses.

Ces réserves étant faites, je citerai les expériences suivantes :

a. Exhalation d'azote dans un gaz autre que l'air par des feuilles détachées de la tige.

1° Le 30 juillet 1868, on a placé dans 60^cc d'acide carbonique complétement absorbable par la potasse, et par conséquent dépourvu d'azote, une feuille de Laurier-rose. L'éprouvette étant sur la cuve à mercure, on laissait une légère couche d'eau à la surface pour protéger la feuille contre les vapeurs du mercure. L'exposition au soleil ayant duré de six heures du matin à dix heures, on a absorbé l'acide carbonique par la potasse, l'oxygène par le phosphore, et l'on a obtenu un résidu de 0^cc,75 d'azote. Les mêmes opérations, ayant été faites sur un tube témoin plein d'acide carbonique, n'ont pas laissé de résidu.

2° Le 18 avril 1869, une feuille de Ficaire a été placée dans 60^cc d'acide carbonique de sept heures à onze heures du matin. On a trouvé un résidu de 0^cc,9 d'azote, c'est-à-dire presque le volume de la feuille, qui était d'ailleurs complétement fanée à la fin de l'expérience.

b. Exhalation d'azote par les feuilles adhérentes à la tige.

1° Cette exhalation est facile à démontrer à l'aide d'une succion de quelques centimètres de mercure. J'ai fait passer un rameau de Fusin dans la cuve de verre à ouverture centrale séparable en deux parties que l'on réunit par du mastic. Je recouvre le rameau d'une cloche; la cuve étant pleine de mercure, j'aspire un peu l'air de la cloche avec une pipette, de manière à faire monter le mercure de 2 ou 3 centimètres. Au bout de deux ou trois jours, suivant le diamètre de l'éprouvette, les

niveaux sont revenus sur le même plan. Une éprouvette témoin n'avait pas sensiblement varié.

2° Le 10 mai 1869, on a placé dans l'appareil un rameau de Tilleul formant une pousse à la base du tronc et terminé par une feuille : la tige de ce rameau avait été couverte de vernis jusqu'au sol. Il a ensuite été recouvert d'une cloche contenant 60^{cc} d'air, et l'on a placé à côté une autre cloche avec le même volume d'air. La feuille a été frappée par le soleil de six heures à midi. On a laissé le mercure et le gaz revenir à la température primitive, et l'on a absorbé l'oxygène et l'acide carbonique dans le tube et dans le témoin.

On a trouvé pour résidu :

	cc
Témoin	47,2 Az.
Rameau	50,5
Différence	3,3

Il s'était aussi condensé beaucoup d'eau.

3° Le lendemain, la feuille paraissant remise de l'épreuve de la veille, j'ai collé, après l'avoir repliée, ses deux moitiés l'une contre l'autre, de manière à ne laisser libre que sa face supérieure. Après avoir refait les expériences précédentes, j'ai trouvé :

	cc
Témoin	47,15
Rameau	47,3
Différence	0,15

La feuille était boursouflée *à la face inférieure*, et elle n'a pas tardé à succomber ainsi que le rameau.

Ainsi, la feuille adhérente à la tige a exhalé, par sa face inférieure garnie de stomates, 3^{cc},35 d'azote. Ce volume étant évidemment plus grand que celui que la feuille peut contenir, il a dû y avoir appel de l'azote de la tige déterminé par la grande élévation de température à laquelle la feuille a été soumise.

Enfin, une autre pousse ayant été soumise aux mêmes expériences de six heures du soir à minuit, il n'y a pas eu de différence sensible de niveau.

Les feuilles des plantes aériennes peuvent donc exhaler de

l'azote comme les plantes aquatico-aériennes, mais le phénomène paraît plus accidentel et déterminé par des variations de température et de pression intérieure, une succion extérieure ou l'évaporation aqueuse.

c. **Inspiration d'azote par les rameaux ligneux.**

En signalant l'expérience de Hales, que j'ai déjà décrite, M. J. Sachs dit, sans le prouver, que l'oxygène seul est absorbé. J'ai déjà vérifié le contraire avec les *Pontederia.* Il était intéressant de procéder comme Hales avec des plantes aériennes :

J'ai marqué sur un tube deux traits correspondant à une capacité de 10^{cc}. J'ai façonné l'extrémité d'un rameau de Laurier, de manière à amener sa section jusqu'au premier trait. Le tube a été luté avec soin au rameau, et celui-ci recouvert jusqu'aux feuilles d'une forte couche de vernis. Le tube a été enfoncé dans le mercure et, avec une pipette, on a amené le niveau au second trait. Les feuilles seules ont été exposées au soleil depuis sept heures jusqu'à onze heures. On enfonçait le tube à mesure que le mercure montait. Enfin, on avait placé à côté le tube témoin contenant aussi 10^{cc} d'air. On a analysé les gaz des deux tubes :

		cc
Témoin	Azote	7,9
	Oxygène	2,1
		cc
Tube du rameau	Azote	4,9
	Oxygène	1,8

Toutes réductions faites, il avait donc disparu 3^{cc} d'azote et seulement 0,3 d'oxygène.

J'ai recouvert, dans une expérience analogue, la face inférieure des feuilles avec un vernis lithargyré. Le mercure est monté seulement de 0,8. Il faut remarquer d'ailleurs que ces expériences comparatives sur les feuilles vernies ne sont pas aussi concluantes qu'elles pourraient le paraître, puisque, en même temps qu'on ferme les stomates, on diminue de moitié la surface d'évaporation.

Enfin, dans une dernière expérience, j'ai voulu comparer le gaz expiré par les feuilles à celui qui est inspiré par la tige (mai 1869).

J'ai disposé d'abord, comme dans l'expérience précédente, un rameau de la même plante terminé par une feuille et recouvert de vernis. Je l'ai ensuite introduit par en haut dans la cuve à mercure à ouverture centrale ; la feuille était recouverte d'une cloche contenant 60^{cc} d'air. On soulevait cette dernière de manière à déterminer une aspiration suffisante. On a pu ainsi, dans huit heures, augmenter le volume du gaz de 2^{cc}, tandis que celui du tube où plongeait le rameau diminuait de 2^{cc},5. En enfonçant au contraire la cloche supérieure dans le mercure, on ne faisait point descendre le mercure dans le tube extérieur. Un accident a d'ailleurs empêché l'analyse des gaz.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Il ressort de cette série d'observations et d'expériences :

1° Qu'on doit distinguer la dialyse gazeuse qui se fait à travers la cuticule des mouvements de gaz intérieurs qui peuvent se déplacer et s'exhaler au dehors par diffusion.

2° Que toutes les plantes, et en particulier les plantes aquatico-aériennes, sont le siége de mouvements intérieurs d'air plus ou moins modifié, s'effectuant de la tige vers les feuilles à l'aide d'organes spéciaux, soit réseaux de canaux aériens (Nélumbonées, Nymphéacées, etc.), soit par des cavités cloisonnées à cloisons poreuses.

3° Que les stomates, toujours en rapport avec ces organes, ont pour but de laisser exhaler au dehors les gaz intérieurs ; tandis qu'ils sont en général disposés de manière à les empêcher de rentrer.

4° Que ces mouvements gazeux ont pour cause l'évaporation, l'inégale distribution de la température, les variations atmosphériques, etc.

MICROMYCETES EXOTICI NOVI

Auctore L. A. CRIÉ.

SEPTORIA TILIACEARUM Nobis.

Descriptio. — Maculis rotundatis, diametro 1-5 millim. obtinentibus, fuscis seu nigrescentibus dein albescentibus, zona nigrescenti-fusca cinctis. Peritheciis epiphyllis, fuscis, exiguis, sparsis, haud numerosis, pro more 4-5. Sporidiis oblongo-ellipticis, obtusis 5-8 sporulis cylindricis repletis. Cirris, me judice, albidis.

Forma typica plantarum Tiliacearum incola.

Distributio geographica. — Ad folia Tiliacearum et præcipue Grewiearum in Asia et Africa tropica et subtropica; Tiliearum in Europa et Asia finitima nec non in America boreali; Sloanearum in America tropica et Elæocarpearum in Asia tropica, vere parasitica.

Var. α. *Tiliæ.* — Zonis latissimis purpureis; peritheciis raris. — Haud infrequens apud Armenios ad folia *Tiliæ rubræ* (ex herb. Horti Petropolitani). Varietates et formæ quidem formosæ hujusce Fungilli quum in Musæi Parisiensis herbario tum in cl. Lenormandi herbario non desunt quod nunc in thesauris Musæi Cadomensis reperias. Cum Fungillo nostro Fungillus americanus ex omni parte quadrat.

Forma quædam sterilis *Septoriæ* nostræ ad folia *Tiliæ intermediæ* DC., *Prodr.* V, I, p. 513; Spach., *Ann. sc. nat.*, II, p. 336, in Gallia orientali visa est. — An forma *Ectostromæ Tiliæ* Fr.?

In Pensylvania *Tiliæ americanæ* foliorum incola (ex herb. Cauby).

Var. β, *Sloaneæ*. — Maculis rotundatis, albidis, duplici zona cinctis. Habitat in America ad folia *Sloaneæ dentatæ* L. (Ex herb. cl. Lenormandi.)

Var. γ. *Sparmanniæ*. — *Ectostroma Sparmanniæ*. — Specimina Sparmannica quæ a Promontorio Bonæ Spei retulit oculat. Drége, anno 1838, maculas steriles numerosas præbent; non ad *Phyllostictas* sed ad *Ectostromas* sive *Xylomas*, ni fallor, potius referenda.

Ectostromam Tiliæ nostram Fungillus de quo agitur maculis æmulatur.

Var. δ. *Elæocarpi*. — Maculis limbalibus, longissimis, angustissimis, sinuosis quamdam similitudinem cum *Phyllosticta buxicola* (1) præbentibus. Peritheciis exiguis effusis. — Hospitat in Nova-Caledonia ad folia *Eleocarpi Lenormandi* Vieil. unde cl. Vieillard (prope Wagap), Deplanche (in insula Lifu), retulerunt. — Ea est planta cui nomen est *Gaa* in Nova-Caledonia. Sunt in exsiccatis nonnullis formæ quidem aliæ *Septoriæ Tiliacearum*, sed, sensu nostro, donec plura specimina inspicere liceat, non satis adhuc distinctæ et castigatæ ut propriæ species habendæ sint.

Septoria Sapindacearum Nob.

Descriptio. — Maculis indeterminatis, ochraceis, demum albescentibus, zonâ non cinctis. Peritheciis numerosis, exiguis prominulis, subsphæricis, nigrescentibus, amphigenis. Ascis, nullis. Sporulis albescentibus, ellipticis sive ovoideis (2).

Ad folia Sapindorum jam sicca in Cadomensis botanico horto

(1) Vide plura de his in L. Crié, in nota de eadem Phyllosticta.

(2) Ad instituendas hasce species novas exoticas sporidiorum sane colorem, formam, magnitudinem non omisimus; Friesii autem magistri mycologiæ præcepta sequens, microscopio comp. non abusi sumus; nimia ejus (microscopii), inquit magister mycologiæ, fides ad exitium, scientiæ ducit, si nempe fingantur, ad quod tirones prompti sunt singulam differentiam sub microscopio observatam constantem esse, nova genera.

sat frequentem *Sphæriam* hancce foliicolam legi, autumno 1873 currente. — Nudis oculis, præbet puncta prominula nigra in maculis indeterminatis sine lege disposita, et ni fallor eo plura qua siccior est macula. Exsiccatum parenchymate autumno decedente libere emittitur, unde fiunt vacua *Depazeensia*. (V. L. Crié, *De Phyllostictæ cruentæ distributione geographica ; Ann. sc. nat.*)

Phyllosticta Decaisneana Nobis.

Descriptio. — Maculis amphigenis, distinctis (1) ellipticis aut rotundatis, diametro 3–8 millim. obtinentibus, quum diametro maculæ millim. 7-8 obtinuerint (cfr. Crié, *De maculæ structura*) in centro tenuato plurimæ pedetentim arescunt et infuscantur ; subinde vero multæ ex iisdem aridis pallescunt imo consumuntur et perforantur albescentibus, zona prominula nigrescentifusca cinctis. Peritheciis (2) epiphyllis (hypophyllis apud nonnullas *Eugenias*) pro more raris, irregulariter dispositis, nigris ; ostiolo, ni fallor, orbiculari. Sporidiis ellipticis sive ovoideis. Cirris albescentibus.

Distinctissima species ; nulla adest *Sphæria* cum quâ comparetur.

Persuasum mihi est *Phyllostictam Decaisneanam* nostram foliicolam, Sphæriam plantis myrtaceis esse peculiarem.

Distributio geographica. — Occurrit in Nova-Hollandia (3) ad

indicare metamorphosi rite perspecta plurima ejusmodi genera evanescunt, ut jam omnia genera microscopica Lichenum. Differentia sub micr. comp. magna apparens, reipsa tamen perexigua esse potest; sub microscopio duo aut tricenties augente, duo aut tricenties major, quam est, apparet, nec omnis differentia essentialis est. — (Fries, *Syst. mycol.*)

(1) Confluentiæ casu ut superrime indicavi, loc. cit., excepto.

(2) Pro pycnidiis peritheciis utor. — Conidia et Spermogonia in bis exoticis Septoriis respectiva rara vidimus; vita autem humana ad singulam pervulgatam Sphæriam foliicolam pernoscendam non sufficiat.

(3) Eucalyptorum Novæ-Hollandiæ in foliis frustra quæsivi.

folia *Lhotskyarum*, *Pileanthorum*, *Chamælaucieearum*, *Triphe-liarum* et præcipue *Melaleucarum*.

In Nova-Caledonia *Jambosarum* et *Eugeniarum* amantissima esse videtur.

Rarius autem ad novissimarum *Fremyarum*, *Clæziarum*, *Tristaniopsidum* et *Spermolepium* Brongt. folia.

Apud nos, autumnali tempore, ad folia *Melaleucarum*. Novæ-Hollandiæ, *Jambosarum* nec non *Eugeniarum* maculæ numerosæ exiguæ et sanguineæ parasitantur; unde fit ut folia rubescentia sæpissime reperiantur, nec non autumnali tempore ad earumdem plantarum adhuc viventia folia ea videnda sunt *vacua*, quæ, ut ab insectorum habitaculis distinguantur, *Depazeensia vacua* appellavi.

SEPTORIA ASTRAPÆÆ Nobis.

Descriptio. — Maculis rotundatis sive ellipticis, irregularibus, sæpissime casu occurrente confluentibus, albidis zona lateritia seu si mavis brunnescenti-rubra cinctis, parenchymate in ambitu macularum fulva aut cinnamomea (lutescenti-brunneo). Peritheciis epiphyllis atris; sporulis curvis.

Species destructiva, primo intuitu, facie sua propria distinguenda sed non satis adhuc castigata.

Astrapææ nova specimina desiderantur.

Habitat ad folia *Astrapæarum* Indicarum et Madagascariensium.

In superiore pagina foliorum quarumdam Euphorbiacearum exoticarum, observantur maculæ zona purpurascenti-rubra cinctæ nec non punctis nigris repletæ.

Lentis ope, hæc puncta præbent spherulas atro-fuscescentes, sporulis repletas.

Utrum hæc *Sphæria* distincta sit nec ne incertum, donec plura specimina inspicere liceat. Ad folia Dilleniacearum

quum in herbario Musæi Parisiensis tum in herbario cl. Lenormandi, *Septorias* sed frustra quæsivi. Occurrunt certe in foliis *Candollearum* quærumdam maculæ haud numerosæ quas nisi steriles essent, *Phyllostictas* facile dixeris. — Sphæriæ foliicolæ (*Septoriæ*, *Phyllostictæ*) ni fallor, ad folia Dilleniacearum et præcipue, *Curatellarum*, *Tetracerarum* non possunt parasitari; cujus causa in structura silicea foliorum sane versatur.

Magnam exoticarum *Depazearum* copiam, quum in herbario Musæi botanici Parisiensis tum in herbario Musæi Cadomensis observavi; plures vero describere, donec nova specimina iterum atque iterum perspexerim, superfluum duco.

DE

LA RESPIRATION DES PLANTES TERRESTRES,

Par M. le Dr BOEHM (1).

---

§ 1.

On s'est occupé et l'on s'occupe encore aujourd'hui, en physiologie végétale, de la question de savoir à l'aide de quels rayons du spectre les plantes vertes décomposent l'acide carbonique.

Pour me former moi-même une opinion sur les recherches de ce genre, j'ai fait, il est vrai avec des moyens optiques très-restreints, un grand nombre d'expériences, d'abord dans de l'eau chargée d'acide carbonique, et ensuite dans de l'air contenant de l'acide carbonique.

En exposant au soleil, sous une dissolution de bichromate de potasse, des feuilles entourées d'une atmosphère composée d'acide carbonique et d'hydrogène, j'ai trouvé constamment que la somme de l'acide carbonique non décomposé et de l'oxygène dégagé ne correspondait jamais complétement à la quantité d'acide carbonique employé (2).

Ces différences m'ont engagé à soumettre la décomposition de l'acide carbonique gazeux par les feuilles vertes à une étude

(1) *Sitzungsberichte der k. Akademie der Wissenschaften.* B. LXVII. 1 Abth. Wien, 1873.

(2) M. Boussingault (*Compt. rend.*, t. LX, p. 872, 1865) trouvait, dans ses recherches sur la respiration (avec des feuilles de Laurier-cerise et de Chêne), tantôt un peu plus, tantôt un peu moins d'oxygène que n'en contenait l'acide carbonique décomposé, qu'il opérât d'ailleurs avec de l'acide carbonique pur (l'acide carbonique pur n'est décomposé, d'après M. Boussingault, que lorsqu'il se trouve à une faible pression), ou avec ce gaz étendu d'azote, d'hydrogène ou d'air atmosphérique.

aussi minutieuse que possible ; car ce n'est qu'en poursuivant pas à pas les phases de ce phénomène fondamental de toute vie organique, et en le ramenant à ses causes, que nous arriverons peut-être enfin à nous former des idées nettes sur la formation jusqu'ici si problématique d'oxygène dans les feuilles vertes.

Le degré de certitude du résultat d'une expérience dépend de la méthode employée ; celle-ci doit être examinée avec un soin extrême, surtout lorsque le résultat obtenu est nouveau, ou qu'il se trouve même en désaccord avec des opinions professées jusqu'ici (1).

Dans ces expériences, il s'agit, avant tout, de déterminer exactement la quantité d'acide carbonique *avant*, et celle de l'acide carbonique et de l'oxygène après l'insolation. Voici comment j'ai opéré :

Les folioles fraîchement coupées de *Juglans regia*, délivrées sous l'eau des bulles d'air qui les recouvraient, ont été roulées et introduites dans une éprouvette complétement remplie d'eau. Celle-ci avait une longueur de 20 à 22 centimètres ; les feuilles, tronquées aux deux extrémités, mesuraient 10 à 15 centimètres.

Ensuite les éprouvettes ont été complétement remplies sur la cuve à eau d'un mélange, préparé la veille, d'hydrogène et d'acide carbonique, et je les transportais, en les bouchant avec le pouce, sur la cuve à mercure. Après quinze à vingt minutes, une partie du gaz a été transvasée dans des tubes remplis de mercure, et le résultat de l'analyse eudiométrique de ce gaz a été comparé avec l'analyse du gaz de l'éprouvette après l'expérience (2).

Cette méthode, quoiqu'elle ne soit pas absolument dépourvue

(1) Dans la description de mes expériences je serai aussi bref que possible. Les causes d'erreur dont il faut tenir compte dans les expériences de ce genre ont été exposées d'une manière très-claire par le docteur W. Pfeffer (*Die Wirkungen des farbigen Lichtes auf die Zersetzung der Kohlensäure in Pflanzen; Arbeiten des botanischen Institutes in Würzburg*, herausgegeben von Sachs.

(2) Les tubes destinés à être exposés à une température déterminée à la lumière solaire ou à l'obscurité, ont été retirés de la cuve à mercure à l'aide de petits verres d'une grandeur convenable.

de causes d'erreur, fournit pourtant, quand les expériences sont faites avec soin, des résultats suffisamment exacts pour nous servir. Le développement des vapeurs mercurielles (si dangereuses pour la vie de la plante) est ainsi empêché, et l'on peut admettre que la composition du gaz, pris dans l'éprouvette avant l'expérience, ne différait pas de celui qui devait servir à l'expérience même. Après quinze à vingt minutes, l'air des méats intercellulaires de la feuille a pu se mélanger avec le gaz ambiant. De même, le gaz analysé et celui de l'expérience ont été altérés à peu près de la même manière au contact de l'eau par absorption et par diffusion.

Avant de procéder à l'analyse, il fallait débarrasser le gaz de l'eau liquide, ce que je faisais en transvasant le gaz plusieurs fois de suite, ou en en faisant passer une grande quantité dans le tube, de manière à faire sortir l'eau et en fermant ensuite le tube à la lampe. J'ai recours à ce dernier procédé quand les appareils ou le temps me manquent pour faire les analyses immédiatement.

Comme je l'ai déjà dit, je n'ai jamais trouvé, après les expériences et les analyses faites avec beaucoup de soin, une concordance parfaite entre le volume de l'acide carbonique contenu dans le gaz avant l'expérience, et la somme de l'acide carbonique et de l'oxygène après l'expérience. Il est vrai que la différence n'a généralement pas été très-grande; mais ce qui est frappant, c'est qu'elle se produit toujours dans le même sens, et cela d'autant plus que, malgré la présence de l'eau (qui absorbe de l'acide carbonique), la somme de l'acide carbonique restant et de l'oxygène dégagé était toujours trop forte comparativement à l'acide carbonique employé. Dans quelques cas, cette différence est montée jusqu'à $0^{cc},7$ à $0^{cc},8$.

On pourrait admettre bien des hypothèses pour expliquer ces faits surprenants.

§ 2.

Gaz contenus dans les feuilles. — Pour savoir quelle part il fallait attribuer dans cet excédant d'oxygène et d'acide carbo-

nique aux gaz contenus dans les méats intercellulaires et dans le suc cellulaire de la feuille, j'opérais dans d'autres expériences avec de l'hydrogène pur, conduit directement de l'appareil à hydrogène dans les éprouvettes remplies d'eau, et contenant les feuilles; les résultats ont été des plus discordants. Avant l'expérience, les gaz contenaient à peine des traces d'acide carbonique et jamais d'oxygène. Après l'insolation, j'ai toujours trouvé une petite quantité d'acide carbonique, tandis que la quantité d'oxygène dégagé était très-variable. Quelquefois il manquait complétement; souvent il n'y en avait que des traces; dans quelques cas rares, son volume dépassait le volume de la feuille. De cette façon, je me trouvais devant une énigme en apparence sans solution possible, dans laquelle il n'y avait que ceci de certain : que l'excédant de gaz ne pouvait provenir que de la feuille.

Je dirigeai donc toute mon attention sur l'air contenu dans la feuille. J'exposerai plus tard les résultats obtenus ; il a déjà paru à ce sujet une petite communication dans le *Anzeiger der kais. Akad. d. Wiss.*, 1872, p. 164.

Pour soumettre l'air contenu dans les feuilles à l'analyse eudiométrique, je me suis servi entre autres du vide de Torricelli ; je fixais les feuilles ou les rameaux à un fil de fer poli et élastique, et je les introduisais ainsi dans un eudiomètre rempli de mercure, et dont la longueur dépassait la hauteur barométrique. Au commencement, les feuilles dégageaient naturellement une quantité de bulles d'air ; mais, à mon plus grand étonnement, le développement du gaz ne voulait plus s'arrêter. Un rameau de $8^{gr},7$ a fourni en quatre jours $11^{cc},3$ de gaz absorbable en grande partie par la potasse.

J'ai montré, il y a un certain nombre d'années, que les plantes terrestres mortes plongées dans l'eau deviennent le siége d'une fermentation butyrique. Cette fermentation pouvait s'établir aussi dans mes expériences, quoiqu'il n'y eût pas d'hydrogène dans les gaz dégagés (au commencement de la fermentation des graines de Légumineuses, il ne se dégage également que de l'acide carbonique) ; mais ce qui ne permet pas d'admettre dans ce cas la fermentation butyrique, c'est que le développement de

gaz commence aussitôt, tandis que dans la fermentation butyrique il ne commence qu'après une macération de deux à trois jours dans l'eau.

On pourrait penser également que l'acide carbonique est condensé par une cause quelconque dans le corps de la plante ; mais le dégagement d'acide carbonique commence immédiatement, quand on plonge la plante dans le mercure *à la pression ordinaire*.

Il ne serait pas absolument impossible, quoique ce fût invraisemblable, qu'il y eût dans les plantes terrestres une substance qui se transformât au contact du mercure ou des vapeurs mercurielles, et donnât de l'acide carbonique. Mais, quand je plongeais dans le mercure des rameaux *desséchés*, je n'obtenais pas de développement de gaz à la pression ordinaire, et dans le vide barométrique, la quantité d'air dégagé correspondait au volume du rameau. Il en était de même des rameaux tués dans l'eau bouillante ou dans la vapeur d'eau.

Avec ces résultats, on ne peut plus douter que le phénomène en question ne soit une fonction de la vie cellulaire de la plante même.

§ 3.

Les phénomènes vitaux de tous les organismes se produisent aux dépens de forces provenant de l'oxydation de matières organiques. Les animaux vivant dans l'air ou dans l'eau meurent bientôt, quand ces milieux sont privés d'oxygène (1). On sait que les plantes terrestres vertes périssent bientôt dans une atmosphère privée d'oxygène quand elles sont maintenues à l'obscurité, mais qu'elles peuvent continuer de vivre pendant longtemps quand elles sont exposées à la lumière. On présume que, dans ce dernier cas, elles préparent elles-mêmes l'oxygène nécessaire en décomposant l'acide carbonique contenu dans leurs méats intercellulaires.

(1) Pour autant que je sache, il n'existe pas de recherches sur le mode de respiration des Vers intestinaux, etc.

La vie des cellules de la levûre de bière est indépendante de la présence d'oxygène libre. C'est à M. Ad. Mayer (1) qu'appartient le mérite d'avoir ramené ce cas sous la loi générale qui régit les conditions d'existence des organismes, et d'avoir ainsi augmenté considérablement nos connaissances sur la fermentation. Les cellules de la levûre créent les forces nécessaires à l'exercice de leurs fonctions vitales par une combustion *intérieure;* — dans la fermentation alcoolique, par le dédoublement du sucre en acide carbonique et en alcool.

Nous savons par les recherches de MM. Hoffmann et Bail, etc., et surtout par celles de M. Reess (2), que tous les Champignons qui provoquent la fermentation alcoolique peuvent non-seulement se cultiver à l'air sur un substratum convenable, mais ne fructifient que dans ces conditions.

En considérant ces faits, il me paraît très-vraisemblable que le dégagement d'acide carbonique par des feuilles et des rameaux plongés dans le mercure n'est pas dû au contact de ce métal, mais à l'absence de l'oxygène. Cette supposition a été confirmée complétement par l'expérience. Des rameaux de Lilas décortiqués donnent lieu, dans une atmosphère privée d'oxygène et dans des conditions de température favorables, à un dégagement très-vif d'acide carbonique (3).

Avec ces données, le problème de la différence entre la quantité d'acide carbonique avant l'expérience et la somme de l'acide carbonique et de l'oxygène après l'insolation, était résolu, et la

(1) Ad. Mayer, *Untersuchungen über die alcoholische Gährung.* — Poggendorf, *Annal.*, vol. CLXII, p. 393, et *Landw. Versuchsstation,* herausgegeben von professor F. Nobbe. Bd. 14, 1871.

(2) Reess, *Botanische Untersuchungen über die Alkoholgährungspilze.* Leipzig, 1870.

(3) J'ai déjà exprimé (*Anzeiger der kais. Akad. d. W.*, 1872, p. 164) mon opinion sur l'analogie qui existe entre les fonctions des cellules de la levûre et celles de toute autre plante terrestre vivante, en ces termes : « Nous apprendrons par des nouvelles recherches si ces plantes forment également de l'alcool. » D'après une correspondance de A. Henninger de Paris (*Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft zu Berlin,* 1872), nous sommes déjà fixés à ce sujet. Pasteur a mis en évidence la formation de l'alcool par des feuilles de Prunier et de Rhubarbe plongées dans l'eau. Les fonctions de plantes terrestres vivant dans des milieux privés d'oxygène ressemblent donc complétement à celles de la levûre dans la fermentation.

provenance de l'excès d'acide carbonique était indiquée. Voici maintenant les expériences que je fis :

§ 4.

Après avoir disposé sur des cuves à mercure des éprouvettes remplies de feuilles vertes, d'hydrogène et d'acide carbonique, je notai provisoirement la hauteur du mercure; j'obscurcis la salle, et, après trente à quarante-cinq minutes, je marquai définitivement la hauteur. Je pus constater qu'au lieu de diminuer, comme il aurait dû le faire à cause du refroidissement des appareils chauffés au moment de la disposition des expériences, le volume du gaz avait augmenté sans exception. Ensuite j'enlevai les éprouvettes à l'aide de petits godets de verre, et je les exposai, en partie directement, en partie cachées sous des toiles noires, à la lumière solaire pendant six à sept heures. Après les avoir transportées à leur première place, je les abandonnai à elles-mêmes pendant une heure avant de lire la hauteur du mercure, à cause de l'élévation considérable de la température pendant l'insolation. Pendant cet intervalle de temps, les éprouvettes, obscurcies pendant l'insolation, étaient toujours recouvertes d'une toile noire.

Dans les huit séries d'expériences faites avec des feuilles de *Juglans regia*, *Platanus orientalis*, *Fraxinus Ornus*, *Syringa vulgaris*, *Quercus Cerris*, *Acer pseudoplatanus*, *Cydonia vulgaris* et *Salix fragilis*, l'augmentation de volume des gaz dans les appareils exposés au soleil était très-faible, mais constante, tandis qu'elle était toujours très-considérable dans les appareils obscurcis, et s'élevait souvent jusqu'à 4 à 5 centimètres cubes (1). Dans le premier cas, la plante crée elle-même la force nécessaire à l'exercice de ses fonctions vitales par combustion intérieure,

(1) Les résultats de M. Boussingault sur le changement du volume des gaz dans des expériences semblables aux miennes, mais faites dans un autre but, sont en désaccord avec mes observations. Ainsi, par exemple, dans une expérience faite le 17 août 1864 dans l'acide carbonique pur, le volume du gaz n'avait pas changé après une insolation de 10 heures, tandis que dans une autre expérience faite le 7 juillet 1864 dans

en dégageant de l'acide carbonique jusqu'à ce qu'elle ait produit assez d'oxygène pour respirer normalement. Cette quantité est très-faible (1), parce que l'acide carbonique produit à ses dépens est de nouveau décomposé, etc.

Il était probable que, toutes choses égales d'ailleurs, la quantité d'acide carbonique produit par combustion intérieure dépendait du volume des feuilles soumises à l'expérience (2); mais je me convainquis bientôt qu'il était loin d'en être toujours ainsi, et qu'il n'existait jamais un rapport parfait.

§ 5.

Voilà jusqu'où allaient mes recherches à la fin de l'été de 1871. Je profitai des vacances des deux années suivantes pour éclaircir quelques autres questions qui se sont soulevées à la suite des faits établis jusque-là. Je commençais à disposer la plupart de mes expériences vers 7 heures du matin, de sorte que l'exposition pouvait commencer à 9 heures. Je me servais exclusivement des folioles fraîchement cueillies de *Juglans regia*. Pour déterminer la température dans les appareils exposés directement à la lumière solaire et dans ceux qui étaient recouverts d'une enveloppe opaque, je me servais de deux petits thermomètres que j'introduisais dans deux cylindres de verre disposés à côté des éprouvettes et remplis absolument comme celles-ci. Je dois faire observer que ma cuve à mercure permet l'analyse simultanée de dix gaz (d'après

un mélange d'acide carbonique et d'air atmosphérique on a observé dans l'espace de quatre heures une augmentation de volume de 1cc,9 (*Compt. rend.*, t. LXIX, p. 872). Les différences de volume généralement faibles que Pfeffer a trouvées dans ses belles et nombreuses expériences avec de l'acide carbonique très-étendu d'air, sont plus souvent négatives que positives par rapport au volume primitif.

(1) Il paraît que dans les feuilles adultes il ne se fixe plus d'oxygène comme dans la germination, par exemple.

Dans chacune des expériences décrites l'acide carbonique a été absorbé par la potasse, et dans tous les appareils insolés on a recherché l'oxygène après avoir introduit un peu de gaz détonant dans l'eudiomètre.

(2) Le volume des feuilles a été déterminé en les introduisant dans des éprouvettes à moitié remplies d'eau.

la méthode de Bunsen). Cette disposition était indispensable pour un aussi grand nombre d'expériences devenues nécessaires.

Le tableau suivant contient les résultats d'une série d'expériences sur des feuilles de *Juglans*, dans l'hydrogène, sous l'eau et au soleil (1).

La température de l'eau du cylindre extérieur montait jusqu'à 32 degrés centigr., les thermomètres des petits cylindres montaient jusqu'à 33 degrés centigr. (ce qui indique la température à laquelle se faisait l'expérience). Durée : de 9 heures un quart à 3 heures et demie (2).

TABLEAU I.

AVANT L'EXPÉRIENCE après 20 minutes.		APRÈS L'EXPÉRIENCE.		VOLUME de la feuille.
Acide carbonique.	Oxygène.	Augmentation de volume.	Acide carbonique apparu.	
cc	cc	cc	cc	cc
0,156	0,273	0,115	0,314	1,38
0,185	0,128	0,205	0,108	1,69
0,254	0,319	0,216	0,357	1,57
0,297	0,165	0,319	0,143	1,55
0,305	0,173	0,368	0,106	1,25

L'augmentation de volume pendant l'insolation a toujours été plus faible que la somme de l'acide carbonique trouvé et de

(1) Dans les tubes exposés directement au soleil, contenant de l'air séparé de l'atmosphère ambiante par du mercure, la température dépasse souvent dans les journées chaudes de l'été 40 degrés centigr. Pour empêcher cette élévation trop forte de la température les appareils ont été plongés dans des cylindres de verre remplis d'eau. Pour empêcher les tubes de s'élever, ils ont été fixés aux verres qui les contenaient à l'aide de bouchons de liége.

(2) Parmi toutes les déterminations de volumes dont il est question, c'est celle de l'augmentation de volume pendant l'insolation qui demande le plûs de soin à cause de la quantité relativement grande d'eau contenue dans les éprouvettes (1-2 cent. cub.). En effet, pendant l'exposition, la petite colonne d'eau qui se trouve au-dessus du mercure augmente souvent d'un millimètre par suite de l'écoulement lent de l'eau qui s'est attachée à la surface de la feuille et aux parois latérales du tube. Il est évident que cette quantité doit être ajoutée à la hauteur de l'eau déterminée au commencement, tandis qu'il faut en tenir compte d'une autre manière dans la réduction du gaz à une pression déterminée.

l'oxygène dégagé. Cette différence est souvent beaucoup trop grande pour qu'elle puisse s'expliquer par l'addition des gaz sortis de la feuille par diffusion (acide carbonique et oxygène ; l'azote provenant de cette source est compris dans le volume d'hydrogène déterminé indirectement), alors que l'échantillon analysé immédiatement avant l'insolation ne contenait que des traces d'acide carbonique et pas du tout d'oxygène. D'après ce que j'ai dit plus haut, rien n'est plus naturel que la provenance de cet excédant qui se montre dans toutes ces expériences au milieu de gaz indifférents privés d'oxygène. C'est un produit de la combustion intérieure qui a lieu dans l'espace de temps qui s'écoule entre l'introduction des feuilles dans les éprouvettes et la détermination du volume avant l'exposition. Une petite partie de cet excédant doit provenir aussi des méats intercellulaires et du suc cellulaire de la feuille.

Le tableau II renferme les résultats d'une série d'expériences faites en même temps que les premières, mais dans lesquelles les éprouvettes étaient recouvertes d'une couverture noire opaque.

Dans ces expériences la température ne montait qu'à 29°,4 centigr. Dans tous les cas l'augmentation de volume a été considérable, mais, comme je l'ai déjà dit, elle n'est pas proportionnelle au volume de la feuille.

Tableau II.

Avant l'expérience après 20 minutes. — Acide carbonique.	Après l'expérience.		Volume de la feuille.
	Augmentation de volume.	Acide carbonique apparu.	
cc	cc	cc	cc
2,980	2,808	0,173	1,65
3,559	3,245	0,314	1,58
3,896	3,485	0,411	1,31
4,147	3,741	0,406	1,52
4,820	4,214	0,606	1,84

La quantité d'acide carbonique formé dans un milieu privé d'oxygène est évidemment la mesure de l'intensité de la *combustion intérieure* de feuilles vivant dans l'obscurité.

§ 6.

Il s'agissait de savoir maintenant jusqu'à quel point cette combustion dépendait, d'un côté, de la nature du gaz employé, et, d'un autre côté, de la température. Des expériences faites dans ce sens ont montré que l'acide carbonique, l'oxyde de carbone et l'azote (1) se comportent comme l'hydrogène, tandis que l'acide sulfhydrique agit comme un poison mortel. Dans les appareils remplis de ce gaz j'ai même observé, pendant la durée de l'expérience, une petite diminution de volume dont la cause est facile à comprendre, et, après six heures et demie, les feuilles avaient presque entièrement changé de couleur.

Comme on pouvait le prévoir, la température exerce une influence considérable sur la quantité d'acide carbonique formé dans l'obscurité par les feuilles de *Juglans* dans l'hydrogène ; à 5°,7 centigr. l'augmentation de volume est relativement très-faible quand on retranche celle qui a été observée avant l'exposition (2).

TABLEAU III. — *Le 17 août 1871, à 21 degrés centigr., de 9 h. à 4 h. 1/2.*

AVANT L'EXPÉRIENCE après 20 minutes. — Acide carbonique.	APRÈS L'EXPÉRIENCE. Augmentation de volume.	Acide carbonique apparu.	VOLUME de la feuille.
cc	cc	cc	cc
2,166	1,872	0,244	1,50
2,651	2,106	0,545	1,43
3,730	2,244	0,486	1,69
3,053	2,527	0,526	1,58
3,968	3,305	0,663	1,64

(1) Dans mes expériences avec l'azote j'obtenais d'abord, à mon grand étonnement, des résultats très-discordants qui se sont bientôt expliqués ; je préparais mon azote en absorbant l'oxygène de l'air à l'aide de bâtons de phosphore luisants et humides. Quoique le phosphore séjournât au moins vingt-quatre heures dans les tubes d'environ 50 cent. cub. fermés par le mercure, je retrouvais souvent à l'analyse eudiométrique du gaz restant 1-3 pour 100 d'oxygène.

(2) Comme il a été dit plus haut, cet excédant s'est formé depuis la disposition de l'appareil jusqu'à la première détermination de volume. Il pourrait bien provenir aussi en petite partie de la feuille même.

Tableau IV. — *Le 20 août 1872, à 16 degrés centigr., de 9 h. 1/2 à 4 h. 1/2.*

Avant l'expérience après 20 minutes. — Acide carbonique.	Après l'expérience.		Volume de la feuille.
	Augmentation de volume.	Acide carbonique apparu.	
cc	cc	cc	cc
2,001	1,605	0,398	1,37
1,993	1,454	0,549	1,48
2,069	1,792	0,277	1,53
2,377	2,050	0,327	1,64
2,994	2,533	0,461	1,58

Tableau V. — *Le 12 septembre 1872, de 9 h. 1/2 à 5 h., dans une cave sous de l'eau glacée à 6-7 degrés centigr.*

Avant l'expérience après 20 minutes. — Acide carbonique.	Après l'expérience.		Volume de la feuille.
	Augmentation de volume.	Acide carbonique apparu.	
cc	cc	cc	cc
0,997	0,749	0,248	1,42
1,219	0,858	0,361	1,36
1,341	0,964	0,377	1,47
1,752	1,266	0,486	1,66

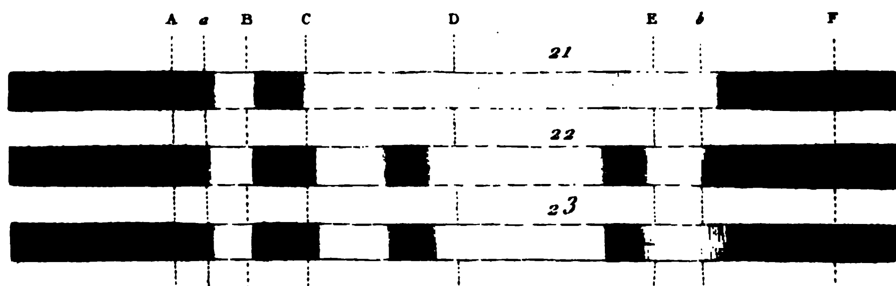
Au-dessous de zéro les fonctions des plantes vivantes paraissent s'arrêter complétement. Un rameau de Lilas pesant 6gr,41, placé dans un appareil de verre approprié, à la pression ordinaire et entouré de neige fondant lentement, n'a pas dégagé une seule bulle de gaz dans huit jours. Après avoir transporté l'appareil dans mon cabinet de travail, à une température de 9-18 degrés centigr., j'ai vu se dégager en quatre jours 3cc,17 de gaz qui a été presque entièrement absorbé par la potasse.

§ 7.

Dans les expériences dont les résultats ont été exposés dans le tableau I, le volume de l'oxygène dégagé est surprenant quand on songe aux conditions où il s'est développé, mais il est bien



A. *Spermosira hallensis.* — B. *Nostoc paludosum.* — C. Nostoc minutu[illegible]



A. Prillieux del. Pierre sc.

Cristalloïdes du Neottia Nidus-avis.

Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15. Paris

petit en comparaison avec les quantités trouvées exceptionnellement dans plusieurs expériences précédentes du même genre. Il est certain maintenant que dans ces cas exceptionnels une cause quelconque m'a empêché d'exposer immédiatement au soleil les appareils préparés.

TABLEAU VI. — *Dans l'hydrogène, le* 25 *août* 1871. *Les éprouvettes ont séjourné après la première détermination, depuis* 9 *h. jusqu'à* 1 *h.* 1/2 *à la température de* 21°,4 *centigr., dans une salle obscure, et ont été ensuite exposées à la lumière solaire jusqu'à* 4 *h.* 1/2. *La température est montée jusqu'à* 29 *degrés centigr.*

AVANT L'EXPÉRIENCE. Première analyse.		APRÈS L'EXPÉRIENCE.			VOLUME
Acide carbonique.	Oxygène.	Augmentation de volume à l'obscurité.	Augmentation de volume au soleil.	Acide carbonique apparu.	de la feuille.
cc	cc	cc	cc	cc	cc
0,101	1,120	0,758	0,279	0,184	1,56
0,210	0,938	0,790	0,144	0,214	1,21
0,264	1,067	1,003	0,172	0,156	1,54
0,236	1,147	1,043	0,114	0,226	1,39
0,302	1,481	1,247	0,164	0,372	1,54

TABLEAU VII. — *Dans l'hydrogène, le* 4-5 *septembre* 1871. *Les éprouvettes ont séjourné après la première détermination dans la salle des analyses de gaz, à la température de* 19-20 *degrés centigr., de* 7 *h. du soir à* 7 *h. du matin, et ont été exposées ensuite au soleil jusqu'à* 4 *h. sous de l'eau dont la température s'est élevée jusqu'à* 30 *degrés centigrades.*

AVANT L'EXPÉRIENCE. Première analyse.		APRÈS L'EXPÉRIENCE.			VOLUME
Acide carbonique.	Oxygène.	Augmentation de volume à l'obscurité.	Augmentation de volume au soleil.	Acide carbonique apparu.	de la feuille.
cc	cc	cc	cc	cc	cc
0,402	1,201	1,104	0,169	0,310	1,53
0,521	1,869	1,869	0,143	0,378	1,37
0,652	2,646	2,341	0,307	0,650	1,22
2,661	1,368	2,253	1,186	0,590	1,37
4,833	.....	1,806	2,733	0,294	1,46
5,088	.....	2,452	1,930	0,706	1,56
6,139	.....	2,640	3,091	0,428	1,25
5,362	.....	2,806	2,183	0,373	1,19
7,553	.....	2,935	3,921	0,697	1,37
5,862	.....	3,022	2,275	0,565	1,33

TABLEAU VIII. — *Dans l'hydrogène, le* 16-17 *août* 1872. *Séjour de l'éprouvette dans la salle des analyses de gaz de* 6 *h. du soir à* 9 *h. du matin, à la température de* 18-20 *degrés centigr. Exposition au soleil par un ciel presque sans nuages jusqu'à* 4 *h.* 3/4 *du soir. La température s'est élevée à* 31°,7 *centigr.*

AVANT L'EXPÉRIENCE. Première analyse.		APRÈS L'EXPÉRIENCE.			VOLUME
Acide carbonique.	Oxygène.	Augmentation de volume à l'obscurité.	Augmentation de volume au soleil.	Acide carbonique apparu.	de la feuille.
cc	cc	cc	cc	cc	cc
2,591	0,885	1,753	1,252	0,471	1,53
3,355	.....	1,391	1,593	0,371	1,35
3,734	.....	1,639	1,442	0,673	1,38
3,192	.....	1,743	1,054	0,395	1,52
4,534	.....	1,825	2,086	0,628	1,29
4,143	.....	2,086	1,252	0,805	1,73
4,083	.....	2,158	1,423	0,502	1,26
4,055	.....	2,351	1,146	0,558	1,42
4,103	.....	2,417	1,064	0,622	1,37
4,577	.....	2,449	1,652	0,476	1,53

Les tableaux VI, VII et VIII renferment les résultats de ces expériences dans lesquelles les appareils ont été abandonnés à dessein à eux-mêmes, à l'obscurité, pendant un temps plus ou moins long avant l'insolation. Tandis que j'ai trouvé de l'oxygène dans chacun des cinq appareils (tableau VI) qui n'ont séjourné à l'obscurité, à la température de 21°,4 centigr., que pendant quatre heures et demie avant l'insolation, je n'en ai trouvé que quatre dans dix appareils (tableau VII) qui y ont séjourné pendant douze heures et dans un seul des appareils (tableau VIII) qui ont séjourné à l'obscurité pendant quinze heures; dans les autres le développement d'acide carbonique s'est continué encore après l'insolation. Il s'ensuit ce fait très-certainement remarquable que les feuilles conservées pendant plusieurs heures dans une atmosphère privée d'oxygène perdent pour un certain temps ou pour toujours la faculté de décomposer l'acide carbonique *dans ce milieu privé d'oxygène* sans pourtant cesser de vivre. Elles continuent de se procurer les forces nécessaires à leurs fonctions vitales par combustion intérieure.

Les expériences dont les résultats sont exposés dans les

tableaux IX et X donnent la réponse à la question : *combien* d'acide carbonique une feuille donnée peut fournir en général par combustion intérieure ?

TABLEAU IX. — *Expériences dans l'hydrogène, à l'obscurité, le* 10 *et le* 11 *août* 1872, *à la température de* 19-21 *degrés centigr. L'augmentation de volume a été de :*

Depuis 8 h. 1/2 matin à 6 h. 1/2 soir.	Jusqu'à 8 h. 1/2 mat.	Jusqu'à 6 h. 1/2 soir.	Jusqu'à 8 h. 1/2 mat.	Somme.	Acide carbonique trouvé avant l'expérience.	VOLUME de la feuille.
cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc
0,964	1,147	0,624	0,155	2,890	3,236	1,46
1,083	0,836	0,563	0,172	2,754	2,946	1,27
1,244	1,042	0,641	0,120	2,807	3,161	1,60
1,431	0,739	0,422	0,086	2,678	3,027	1,38
1,752	0,966	0,557	0,143	3,418	4,002	1,52

TABLEAU X. — *Expériences dans l'hydrogène, à l'obscurité, le* 10 *et le* 11 *août* 1872. *Ces deux jours les appareils ont été exposés au soleil couverts d'une toile noire, après détermination de volume. Le maximum de température a été, le* 10 *août, de* 31°,4 *centigr.; le* 11, 29°,7 *centigr. Pendant la nuit les tubes étaient sur le mercure, dans la salle des analyses, à une température de* 19-20 *degrés centigr. L'augmentation a été de :*

Depuis 8 h. 1/2 matin à 6 h. 1/2 soir.	A 8 h. 1/2 matin.	A 6 h. 1/2 soir.	A 8 h. 1/2 matin.	Somme.	Acide carbonique trouvé avant l'expérience.	VOLUME de la feuille.
cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc
2,550	0,986	1,404	0,119	5,059	5,386	1,42
2,841	0,792	1,273	0,152	4,654	4,938	1,27
2,866	1,033	1,641	0,284	5,292	5,687	1,43
3,359	0,670	0,972	0,107	5,108	5,580	1,59
3,527	0,862	1,856	0,473	6,718	7,064	1,64

Cette quantité varie énormément avec la température. Depuis le deuxième jour il ne s'est manifesté d'augmentation de volume notable dans aucun appareil ; dans quelques cas il y avait même avant ce délai une petite diminution (évidemment causée par l'absorption d'acide carbonique par l'eau qui était restée dans les tubes ; une petite portion d'acide carbonique a pu entrer aussi dans la composition de sels doubles formés dans le suc cellu-

laire). *Une combustion intérieure* assez vive ne cause donc pas la mort prématurée de la feuille.

M. Boussingault trouve que les feuilles de Laurier-rose ne perdent la faculté de développer de l'oxygène dans un mélange d'acide carbonique et d'air atmosphérique qu'après un séjour de quarante-huit heures dans l'acide carbonique, l'azote, ou le gaz des marais, à l'obscurité et à une température de 22-23 degrés centigr. Dans un cas, une feuille qui avait été conservée dans l'hydrogène et à l'obscurité pendant quarante-huit heures, a encore décomposé 2^{cc},6 d'acide carbonique après une insolation de cinq heures.

Il ressort de ces expériences et de celles qui ont été exposées plus haut que les feuilles qui ont perdu la faculté de décomposer l'acide carbonique dans un milieu privé d'oxygène par un séjour dans des gaz indifférents privés d'oxygène, possèdent encore cette faculté dans une atmosphère oxygénée aussi longtemps qu'elles peuvent vivre, c'est-à-dire qu'elles peuvent former de l'acide carbonique par combustion intérieure.

Pour le rapport qui existe entre l'acide carbonique décomposé au soleil par des feuilles vertes et l'oxygène consommé dans l'obscurité et dans l'air atmosphérique, je renvoie le lecteur aux expériences de M. Boussingault (1).

§ 8.

Les physiologistes se sont peu occupés jusqu'à présent de la quantité d'oxygène employée en un temps donné par un organisme vivant pour la formation d'acide carbonique.

Les plantes vivantes brûlent pendant leur végétation dans l'air oxygéné une partie de leur corps et créent ainsi les forces nécessaires à leur vie cellulaire. La quantité d'acide carbonique formée par une plante en un temps donné peut donc nous servir de mesure pour l'intensité des phénomènes vitaux dont la plante est le siége. Mais nous ignorons si ces phénomènes sont normaux, c'est-à-dire s'ils favorisent la durée maxima de la vie, ou s'ils sont pathologiques.

(1) *Compt. rend.*, t. LX, p. 877, et t. LXI, p. 605, 1865.

Les plantes qui vivent dans des milieux privés d'oxygène doivent se créer ces forces par combustion intérieure. Nous ne nous faisons aucune idée sur la valeur de ces forces et nous ne savons pas jusqu'à quel point elles peuvent servir à faire fonctionner le mécanisme végétal.

Les tableaux XI-XVIII rendent compte des expériences que j'ai faites sur des feuilles de *Juglans* dans des quantités connues

TABLEAU XI. — *Expériences dans l'air atmosphérique, au soleil, le* 13 *août* 1872. *Pendant une insolation de sept heures la température s'est élevée dans le tube jusqu'à* 39°,8 *centigrades.*

AVANT L'EXPÉRIENCE.		APRÈS L'EXPÉRIENCE.			VOLUME de la feuille.
Quantité d'air employé.	Acide carbonique après 20 min.	Quantités de CO^2 et de O pour 100 de gaz.		Somme de CO^2 et de O pour 100 de gaz.	
		Acide carbon.	Oxygène.		
cc	cc				cc
25,43	1,08	4,24	16,68	20,92	1,65
26,04	0,99	3,81	17,96	21,77	1,83
26,72	0,71	2,65	17,85	20,50	1,43
27,29	1,00	3,75	18,64	22,39	1,58*
28,42	0,90	3,17	18,25	21,42	1,76

* Cette feuille portait plusieurs taches brunes après l'expérience.

d'air atmosphérique à des températures variables, à la lumière et à l'obscurité (1). Ce qui frappe avant tout, c'est qu'à la temtérature de 39°,8 centigrades, au soleil, il s'est formé relativement beaucoup d'acide carbonique aux dépens de l'oxygène de l'air (tableau XI). Je ne puis décider jusqu'à quel point cet acide carbonique doit être considéré comme un produit de la respiration ou de l'oxydation d'une partie de la feuille morte à cette température élevée (la feuille d'un appareil portait, après l'exposition, plusieurs taches brunes). Néanmoins, les résultats de toute cette série d'expériences me semblent indiquer

(1) Dans toutes mes expériences avec des feuilles de *Juglans* dans l'air atmosphérique, le volume du gaz n'a pas changé tant qu'il y avait de l'oxygène, ou il n'a changé qu'à cause de l'absorption de l'acide carbonique formé par l'eau contenue dans les tubes.

que les feuilles de Noyer ne possèdent plus, à la température de 39°,8 centigrades, la faculté de décomposer autant d'acide carbonique qu'elles en produisent par la respiration.

Les tableaux XII et XIII font voir que la température *optima*

TABLEAU XII. — *Dans l'air atmosphérique, au soleil, sous l'eau, le* 16 *août* 1872. *Température maxima de l'eau du vase extérieur :* 33°,4 *centigr. Durée de l'insolation :* 7 *heures.*

AVANT L'EXPÉRIENCE.		APRÈS L'EXPÉRIENCE.			VOLUME
Quantité d'air employé.	Acide carbonique après 20 min.	Quantités de Co^2 et de O pour 100 de gaz.		Somme de Co^2 et de O pour 100 de gaz.	de la feuille.
		Acide carbon.	Oxygène.		
cc	cc				cc
27,26	0,25	0,90	19,65	20,55	1,44
29,43	0,00	0,00	20,81	20,81	1,68
33,28	0,23	0,69	20,20	20,89	1,53
35,72	0,23	0,65	20,05	20,70	1,57
40,74	0,21	0,52	19,95	20,36	1,82

TABLEAU XIII. — *Dans l'air atmosphérique, au soleil, sous l'eau, le* 6 *septembre* 1872. *Temp. maxima de l'eau extérieure :* 30°,2 *cent. Durée de l'insolation :* 6 *h.* 1/2.

AVANT L'EXPÉRIENCE.		APRÈS L'EXPÉRIENCE.			VOLUME
Quantité d'air employé.	Acide carbonique après 20 min.	Quantités de Co^2 et de O pour 100 de gaz.		Somme de Co^2 et de O pour 100 de gaz.	de la feuille.
		Acide carbon.	Oxygène.		
cc	cc				cc
19,16	0,04	0,19	20,01	20,20	1,40
23,22	0,00	0,00	21,00	21,00	1,35
24,38	0,14	0,58	20,72	21,30	1,54
26,25	0,00	0,00	21,23	21,23	1,62
28,41	0,05	0,10	20,68	20,78	1,25

pour le *Juglans regia*, au soleil, est voisine de 30 degrés centigrades. — Le léger excédant d'acide carbonique que j'ai obtenu à la lumière diffuse provient en grande partie des feuilles mêmes, comme le prouve la quantité presque invariable d'oxygène. Dans cette série d'expériences, l'intensité de la lumière paraît avoir été exactement suffisante pour redécomposer l'acide

carbonique formé par la respiration. Mais je dois faire observer ici que, dans les nombreuses expériences faites pendant ce années, je n'ai rencontré que deux cas dans lesquels les feuilles vertes dans l'air contenant de l'acide carbonique, eussent décomposé jusqu'à la dernière trace de cet acide. M. Pfeffer est arrivé au même résultat dans une atmosphère pauvre en acide carbonique, tandis que M. Boussingault cite un nombre relativement élevé de cas dans lesquels tout l'acide carbonique a été décomposé dans une atmosphère riche en acide carbonique.

TABLEAU XIV. — *Dans l'air atmosphérique, à la lumière diffuse, le* 19 *août* 1872, *au milieu d'une salle bien éclairée avec des fenêtres au sud. Température :* 22-23 *degrés centigr. Durée de l'exposition :* 6 *h.* 1/2.

AVANT L'EXPÉRIENCE.		APRÈS L'EXPÉRIENCE.			VOLUME
Quantité d'air employé.	Acide carbonique après 20 min.	Quantités de CO^2 et de O pour 100 de gaz.		Somme de CO^2 et de O pour 100 de gaz.	de la feuille.
		CO^2.	O.		
cc	cc				cc
24,83	0,30	1,20	20,86	22,06	1,37
25,76	0,49	0,94	20,98	21,92	1,26
28,04	0,17	0,62	21,27	21,89	1,73
26,59	0,23	0,86	20,05	20,91	1,43
30,70	0,16	0,51	20,86	21,37	1,42

TABLEAU XV. — *Dans l'air atmosphérique, au soleil, sous l'eau glacée, le* 1er *septembre* 1872. *Température de l'eau :* 6-10 *degrés centigr. Durée de l'insolation :* 6 *heures.*

AVANT L'EXPÉRIENCE.		APRÈS L'EXPÉRIENCE.			VOLUME
Quantité d'air employé.	Acide carbonique après 20 min.	Quantités de CO^2 et de O pour 100 de gaz.		Somme de CO^2 et de O pour 100 de gaz.	de la feuille.
		CO^2.	O.		
cc	cc				cc
25,38	0,29	1,13	19,54	20,67	1,43
27,05	0,26	0,96	20,05	21,01	1,61
27,94	0,54	1,94	19,63	21,57	1,68
28,47	0,46	1,63	19,27	20,90	1,52
29,74	0,37	1,24	19,75	20,99	1,57

Les phénomènes auxquels donnent lieu les feuilles de *Juglans*

dans l'air atmosphérique et à basse température sont particulièrement intéressants. Tandis qu'à 6 ou 10 degrés centigrades au soleil il s'est formé constamment, aux dépens de l'oxygène, une quantité appréciable d'acide carbonique (tableau XV), il s'est développé encore une assez grande quantité d'oxygène à 9 ou 10 degrés centigrades pendant l'insolation directe, même dans un mélange très-chargé d'acide carbonique. Après les expériences dans l'air atmosphérique, à l'obscurité (tableau XVIII), on ne peut plus admettre qu'à basse température et en présence d'une quantité relativement considérable d'oxygène (tableau XV), il se forme plus d'acide carbonique par la respiration qu'en présence d'une petite quantité d'oxygène (tableau XIX). Cette contradiction repose peut-être en ce que les feuilles de *Juglans*, dans une atmosphère pauvre en acide carbonique et à basse température, ne peuvent plus décomposer ce gaz qu'incomplétement; mais je dois faire observer que cette explication ne me paraît pas très-vraisemblable.

Les tableaux XVI, XVII et XVIII renferment les résultats des séries d'expériences faites sur des familles de *Juglans* à l'air atmosphérique, à l'obscurité et à des températures différentes. Ils font voir l'influence considérable de la température sur l'intensité de la respiration. Dans les cas où, pendant l'expérience,

TABLEAU XVI. — *Dans l'air atmosphérique, à l'obscurité, le* 26 *septembre* 1871. *Température maxima :* 32°,5 *centigr. Dans deux appareils il y avait encore un peu d'oxygène après* 7 *heures d'exposition* (A); *dans les trois autres* (B) *tout l'oxygène avait disparu à la fin de l'expérience et le volume de gaz avait augmenté.*

A.

AVANT L'EXPÉRIENCE.		APRÈS L'EXPÉRIENCE.			VOLUME
Quantité d'air employé.	Acide carbonique après 20 min.	Quantités de Co^2 et de O pour 100 de gaz.		Somme de Co^2 et de O pour 100 de gaz.	de la feuille.
		Co^2.	O.		
cc 29,58	cc 4,96	16,82	3,19	20,01	cc 1,28
31,26	5,60	17,92	1,60	19,52	1,46

B.

Air employé.	Oxygène contenu dans l'air employé.	Acide carbonique trouvé après 20 min.	Augmentation de volume.	Acide carbonique disparu.	VOLUME des deux feuilles.
cc	cc	cc	cc	cc	cc
28,68	4,964	5,472	1,860	1,352	2,74
24,53	5,039	4,864	0,803	0,978	2,25
24,88	5,206	5,189	1,116	1,133	2,91

TABLEAU XVII. — *Dans l'air atmosphérique, à l'obscurité, le* 18 *septembre* 1871. *Température :* 19-20 *degrés centigr. Durée de l'expérience :* 7 *heures.*

AVANT L'EXPÉRIENCE.		APRÈS L'EXPÉRIENCE.			VOLUME de la feuille.
Quantité d'air employé.	Acide carbonique après 20 min.	Quantités de Co^2 et de O pour 100 de gaz. Co^2.	O.	Somme de Co^2 et de O pour 100 de gaz.	
cc	cc				cc
24,72	2,82	11,39	8,20	19,59	1,73
26,20	1,43	5,45	14,42	19,87	1,46
27,81	2,06	7,40	12,24	19,64	1,52
29,53	1,99	6,75	13,07	19,82	1,55
31,42	1,78	5,66	15,05	20,71	1,40

TABLEAU XVIII. — *Dans l'air atmosphérique, à l'obscurité, sous de l'eau glacée, le* 8 *septembre* 1872. *Température :* 5-7 *degrés centigr. Durée de l'expérience :* 7 *heures.*

AVANT L'EXPÉRIENCE.		APRÈS L'EXPÉRIENCE.			VOLUME de la feuille.
Quantité d'air employé.	Acide carbonique après 20 min.	Quantités de Co^2 et de O pour 100 de gaz. Co^2.	O.	Somme de Co^2 et de O pour 100 de gaz.	
cc	cc				cc
24,85	1,70	6,84	16,23	23,07	3,27 3 feuilles.
25,43	1,82	7,15	16,27	23,42	3,72 3 feuilles.
26,79	1,69	6,32	16,51	22,83	3,58 3 feuilles.
29,54	0,58	1,97	18,75	20,72	1,06
32,36	0,84	2,59	17,73	20,03	1,49

(1) M. Boussingault a observé un phénomène tout à fait semblable. Plusieurs feuilles de *Nerium* mesurant ensemble 95 centimètres cubes ont été enfermées dans 87cc,3

tout l'oxygène, ou une grande quantité de ce gaz (1) a été consommée, la quantité d'acide carbonique trouvée a été trop faible par rapport à celle obtenue par le calcul. L'absorption de l'acide carbonique par l'eau contenue dans les tubes rend compte en grande partie de cette irrégularité.

TABLEAU XIX. — *Résultats de deux séries d'expériences faites pour voir s'il se formait encore des quantités appréciables d'oxygène dans un mélange d'hydrogène et d'acide carbonique à la température de 9-10 degrés centigr. et au soleil.*

DATE.	Volume du gaz employé (acide carbonique et hydrogène).	RICHESSE POUR CENT après l'insolation en acide carbon.	RICHESSE POUR CENT après l'insolation en oxygène.	Oxygène formé.	VOLUME de la feuille.
	cc			cc	cc
23 août 1871, de 9 h. 1/2 matin à 4 h. soir.	20,05	17,97	9,38	1,880	1,42
	25,69	19,74	8,85	2,274	1,73
	28,57	14.37	11,25	3,214	1,26
	24,39	38,52	4.71	1,148	1,49
	23,27	41,25	3,46	0,805	1,37
	25,48	44,28	2,79	0,711	1,58
21 juillet 1872, de 9 h. 1/4 matin à 3 h. 1/2 soir.	20,84	38,26	2,87	0,598	1,46
	23,24	19,42	13,68	3,179	1,68
	21,37	18,43	8,57	1,831	1,37
	27,28	21,55	7,38	2.013	1,52
	26,08	42,51	3,06	0,800	1,46
	21,12	47,42	4,21	0,889	1,61

Pour savoir si et dans quelle proportion l'acide carbonique contenu dans la feuille au commencement de l'expérience peut influer sur la qualité de l'atmosphère, j'ai exposé chaque fois trois petites feuilles dans trois des appareils de la série des expériences à 5 ou 6 degrés centigrades, et dans l'obscurité (tableau XVIII). Comme il était à prévoir d'après d'autres recherches que j'avais faites sur l'air contenu dans les tissus de plantes vivantes, cette cause a considérablement augmenté la quantité d'acide carbonique.

d'air atmosphérique. Après un séjour de trente heures et demie dans l'obscurité et à 22 degrés, tout l'oxygène (18cc,3) avait disparu ; il s'était développé 19cc,6 d'acide carbonique et 1cc,7 d'azote, et le volume avait augmenté de 3 cent. cub. M. Boussingault dit que cette circonstance semble indiquer un commencement d'altération des feuilles. (*Compt. rend.*, t. LXI, p. 605, 1865.)

§ 9.

Quand on enferme de la même manière que dans les expériences précédentes une feuille de Noyer d'environ 1 centim. cube dans 30 à 35 centim. cubes d'air atmosphérique à 15 à 17 degrés centigrades et à l'obscurité, la feuille brunit déjà avant l'emploi de la totalité de l'oxygène, et le volume du gaz n'augmente plus que faiblement (évidemment à cause d'un commencement de fermentation); il en est de même quand on fait l'expérience dans de l'oxygène pur.

On prétend que la quantité d'acide carbonique, expiré par des organismes animaux, varie, toutes choses égales d'ailleurs, avec la quantité d'oxygène contenu dans l'atmosphère ambiante. De nouvelles recherches nous apprendront s'il y a quelque chose de semblable pour les feuilles adultes de Noyer. Les haricots en germination ne consomment, toutes choses égales d'ailleurs, pas plus d'oxygène dans l'oxygène pur que dans l'air atmosphérique.

§ 10.

Souvent il n'est pas facile de distinguer si le développement d'acide carbonique par des parties végétales, dans des milieux privés d'oxygène, est dû à la fermentation butyrique ou à la combustion intérieure. Depuis la publication de mon travail sur le dégagement de gaz par des parties de plantes mortes, j'ai fait une série d'expériences de ce genre, mais que je n'ai pas encore pu terminer, faute de temps. Il importe de faire observer pour le moment que les formations d'acide carbonique, d'un côté par combustion intérieure et d'un autre côté par fermentation butyrique (signe certain de la mort de la plante), peuvent être concomitantes dans différentes parties du même végétal. On peut s'en convaincre facilement quand on fait germer sur un corps humide des haricots privés de leur enveloppe, et qu'on les plonge ensuite dans de l'eau chargée d'acide carbonique à 18 ou 20 degrés centigrades. En peu de temps, on voit se dégager un grand

nombre de bulles de gaz (dans une grande quantité d'eau ordinaire, ce phénomène ne se produit pas ou il est moins frappant, parce que l'eau absorbe l'acide carbonique dégagé). Quand on transporte, après douze heures, les haricots en germination à l'air et à la lumière, ils continuent à croître; les pointes de quelques radicelles seules pourrissent. Il n'est pas rare de les voir supporter sans dommage une privation d'air de vingt-quatre heures. Après une immersion de deux jours, les racines, ainsi que les sommités des jeunes tiges, meurent, et les cotylédons ne verdissent plus que par endroits, tandis que les parties voisines pourrissent. En même temps, les bourgeons axillaires des cotylédons, qui restent généralement latents, se développent.

§ 11.

Dans mes recherches, citées au commencement de ce travail, sur l'action des différents rayons du spectre sur la décomposition de l'acide carbonique par les plantes vertes, je me servais de dissolutions de bichromate de potasse et d'oxyde de cuivre dans l'ammoniaque. Le procédé était très-simple : les tubes placés sur le mercure ont été disposés dans des cylindres de verre remplis du liquide coloré.

Sous des dissolutions de cuivre d'une concentration telle, qu'avec une épaisseur de 4 centimètres elles ne laissaient plus passer les rayons jaunes et rouges, j'obtenais des résultats qui ne différaient pas de ceux que j'avais obtenus à l'obscurité. Dans l'hydrogène pur ou dans des mélanges d'hydrogène et d'acide carbonique, il ne s'est jamais formé une trace d'oxygène ; j'ai toujours observé une augmentation de volume considérable.

Le 7 août 1872, j'ai repris ces expériences dans un grand cylindre elliptique de 25 et 41 centimètres de diamètre, rempli d'une solution qui laissait passer beaucoup de rayons jaunes et rouges sur une épaisseur de 4 centimètres, mais qui ne laissait plus passer qu'une trace de lumière rouge sur une épaisseur de 8 centimètres. Cinq appareils ont été disposés sur le grand dia-

mètre du cylindre et cinq le long des parois, de telle sorte qu'il y avait entre les appareils et les parois du cylindre une couche de liquide de 2 à 4 centimètres d'épaisseur. L'insolation durait depuis neuf à quatre heures par un temps presque parfaitement serein, la température de la solution cuivrique est montée jusqu'à 29 degrés centigrades. Voici les résultats de cette série d'expériences (tableaux XX et XXI) :

Tableau XX. — *Appareils disposés sur le grand axe du cylindre elliptique.*

AVANT L'EXPÉRIENCE.			APRÈS L'EXPÉRIENCE.		VOLUME
Acide carbonique pour 100 de gaz employé.	Acide carbonique employé.	Acide carbonique trouvé après 20 min.	Augmentation de volume.	Acide carbonique apparu.	de la feuille.
	cc	cc	cc	cc	cc
28,63	7,461	10,940	3,108	0,372	1,64
29,70	8,002	11,990	3,533	0,455	1,38
30,06	6,203	8,591	2,151	0,237	1,52
30,47	6,825	10,162	2,822	0,515	1,44
32,01	7,171	9,280	1,885	0,224	1,27

Tableau XXI. — *Appareils disposés le long des parois du cylindre, à une distance de 2-4 centim. de ces parois.*

GAZ EMPLOYÉS.		AVANT L'EXPÉRIENCE. Première analyse.			APRÈS L'EXPÉRIENCE.		VOLUME
Acide carbonique pour 100 de gaz employé.	Acide carbonique.	Acide carbonique.	Oxygène.	Somme de Co^2 et de O.	Augmentation de volume.	Acide carbonique apparu.	de la feuille.
	cc	cc	cc		cc	cc	cc
30,95	8,345	6,714	2,185	6,899	0,365	0,533	1,56
31,07	11,319	7,531	4,270	11,801	0,217	0,582	1,38
32,51	11,496	6,877	5,146	12,023	0,275	0,527	1,64
33,68	10,045	5,314	5,325	10,639	0,166	0,594	1,42
34,17	20,543	8,379	2,808	11,187	0,318	0,644	1,52

Il en résulte que dans les appareils placés au milieu du cylindre, et qui ne recevaient que très-peu de lumière rouge, il ne s'est pas formé d'oxygène, mais en revanche beaucoup d'acide carbonique.—M. Ofeffer est arrivé à des résultats différents dans ses recherches sur la propriété de la lumière privée par l'oxyde de cuivre ammoniacal de tous ses rayons jaunes et rouges et de

presque tous ses rayons verts, de décomposer l'acide carbonique. Il faut en chercher la raison dans cette circonstance que, dans ses feuilles plongées dans un mélange d'acide carbonique et d'air atmosphérique, la respiration normale n'a jamais été interrompue.

§ 12.

M. Famintzin a observé que, dans un *Spirogyra orthospira* ne contenant pas d'amidon, il s'est développé de l'amidon après un éclairage artificiel de trente minutes (1). Cela m'a donné l'idée de voir comment se comportent les feuilles de *Juglans* à la lumière du gaz dans un mélange d'acide carbonique et d'hydrogène ou dans l'hydrogène pur. Dans ce but, dix appareils, disposés sur une ligne dans une chambre obscure, ont été éclairés de chaque côté par deux flammes papillons portées par des candélabres de 12 centimètres de haut et à une distance de 35 centimètres (la détermination de la température a été omise par mégarde).

Après douze heures, le volume du gaz avait considérablement augmenté dans chacun des tubes (de 3 à 5 centimètres cubes). Quoiqu'on eût pu prévoir qu'avec un développement si considérable d'acide carbonique on ne trouverait pas d'oxygène dégagé, j'ai voulu m'en convaincre directement, parce que je n'avais pas d'expérience sur l'éclairage artificiel. Dans cinq cas, je me suis servi de l'eudiomètre, dans les cinq autres du phosphore. Il est donc certain que les feuilles de *Juglans* sont incapables de décomposer l'acide carbonique dans l'air non respirable, et à la lumière du gaz d'éclairage de l'intensité employée. Mais il ne faut pas en conclure qu'il en est de même en présence de l'oxygène (2).

(1) M. Famintzin s'est servi d'une lampe au pétrole concentrée par une lentille collective et un réfracteur sphérique et dépouillée par de l'eau contenue dans un vase à parois parallèles, de la plupart de ses rayons calorifiques. Au bout de vingt-quatre heures les rubans de chlorophylle étaient remplis d'amidon. « Il se forme de l'amidon à la lumière totale de la lampe et à la lumière jaune; à la lumière bleue il ne se forme non-seulement pas d'amidon, mais l'amidon existant disparaît comme dans l'obscurité. » (*Ann. des sc. nat.*, 5e série. vol. VII, p. 167.) — Pringsheim's, *Jahrb. f. wiss. Botanik*, vol. VI, p. 31.

(2) D'après M. Prillieux, les rameaux d'*Elodea canadensis* dégagent des bulles de gaz quand on les expose à la lumière d'une flamme de gaz (*Compt. rend.*, t. LXIX).

M. Kraus (1) a également fait des observations très-intéressantes au sujet de la formation d'amidon dans la chlorophylle qui n'en contenait pas. Il a trouvé que, sous une dissolution de bichromate de potasse, il se développe de l'amidon aussi rapidement, et avec autant d'énergie qu'en pleine lumière ; mais qu'il se forme aussi de l'amidon à une température de 3 degrés centigrades, ou sous l'influence de la lumière dépouillée des rayons jaunes et rouges par une dissolution ammoniacale de cuivre. Quant à la rapidité avec laquelle l'amidon se forme dans les plantes vertes privées de ce corps, M. Kraus dit qu'on en trouve déjà dans le *Spirogyra*, après cinq minutes d'exposition au soleil.

Quand on pense à la petite quantité d'acide carbonique décomposé par un grain de chlorophylle d'une plante saine pendant cinq minutes ou même pendant une heure et demie, même dans les conditions les plus favorables, quand on considère que déjà, à la température de 10 degrés centigrades, le dégagement d'oxygène par des feuilles de Noyer insolées est très-faible (2) ; qu'ensuite la lumière, qui a traversé de l'oxyde de cuivre ammoniacal assez concentré, ne possède qu'une force décomposante très-faible ; qu'enfin la quantité d'acide carbonique qu'il faut pour fournir le carbone nécessaire à la fabrication de l'amidon, formé dans ces circonstances en si peu peu de temps, est relativement élevée (3), on ne peut pas se défendre du doute que, dans les cas observés par MM Famintzin et Kraus, l'amidon, devenu visible, provienne de l'acide carbonique, décomposé avant l'expérience par la chlorophylle vide d'amidon, malgré les expériences de M. Kraus sur l'augmentation du poids sec des cotylédons.

En tenant compte de ces doutes, justifiés par nos connais-

(1) Kraus, Pringsheim's *Jahrb. f. wiss. Bot.*, vol. VII, p. 511.

(2) Böhm, *Ueber die Bildung von Sauerstoff durch grüne in Köhlensäure hältiges Wasser getauchte Landpflanzen* (*Sitzungsb. d. kais. Ak. d. Wiss.* Bd. 66, 1872).

M. Boussingault, qui n'avait d'autre but dans ses expériences que de connaître la température minima à laquelle le dégagement d'oxygène par les feuilles vertes commence, a constaté que, lorsqu'on expose à la lumière, dans l'acide carbonique, des feuilles de Graminées ou de Mélèze, avec un petit fragment de phosphore, celui-ci dégage déjà des vapeurs à 0,5°-3,5° centigr. (*Compt. rend.*, t. LXVIII, p. 410, 1869).

(3) Dans les expériences de MM. Famintzin et de Kraus, les plantes se trouvaient dans leurs milieux naturels (dans l'air atmosphérique ou dans l'eau).

sances positives sur la décomposition de l'acide carbonique, les résultats inattendus obtenus par MM. Famintzin et Kraus nous permettent d'admettre *provisoirement :* que les cellules vides d'amidon renferment, soit dans leur contenu, soit dans leurs parois, une substance organique, qui, au moment où la cellule fonctionnait encore normalement, avait été procréée à l'aide de l'acide carbonique et de l'eau, mais qui n'avait pu être utilisée pendant le manque absolu ou partiel de lumière, à cause de son assimilation incomplète. Pour prendre la forme d'amidon ou pour servir comme matériel de construction, ce corps hypothétique devrait subir de nouvelles transformations, qui ne seraient possibles que sous l'influence de la lumière. La quantité de chaleur et l'intensité et la qualité de la lumière nécessaires à cette nouvelle transformation ne seraient pas nécessairement les mêmes que celles qu'il faudrait pour décomposer l'acide carbonique. Je ne veux pas dire cependant que les conséquences que M. Kraus lui-même ne tire de ses expériences qu'à contre-cœur, pour des raisons très-fortes, soient absolument inadmissibles. Je crois seulement que, pour en mettre l'exactitude hors de doute, il faudra entreprendre de nouvelles expériences sur l'assimilation positive d'acide carbonique pendant la formation immédiate d'amidon dans les grains de chlorophylle privés de ce corps. Déjà l'année dernière je m'étais proposé cette question pour mes vacances, mais je n'ai pas pu exécuter mon projet.

La formation *immédiate* d'acide carbonique par des plantes terrestres *fraîches*, dans une atmosphère privée d'oxygène, est tellement *constante*, que, lorsque le volume du gaz dans lequel on les enferme reste le même, il faut *nécessairement* en conclure qu'*ou bien les gaz employés contiennent de l'oxygène*, ou *que la plante est morte*.

§ 13.

Comme je l'ai déjà dit dans ce mémoire, je n'ai souvent pas réussi, dans ces dernières années, à découvrir de l'oxygène dans les expériences faites dans l'hydrogène, à la lumière solaire, avec des feuilles vertes. Après un peu de réflexion, je me suis per-

suadé qu'il faut en chercher la cause dans le mélange détonant dont on se sert dans l'analyse.

On sait, et Meidinger s'en est occupé avec soin, que le gaz détonant, provenant de l'eau très-acidulée, contient un excès d'hydrogène, par suite de la formation de bioxyde d'hydrogène. Mais, d'après Bunsen, on obtient un mélange détonant pur avec de l'eau contenant un dixième d'acide sulfurique.

Je prépare mon gaz détonant à l'aide de l'appareil de Bunsen, et depuis cette époque avec de l'eau aiguisée simplement avec quelques gouttes d'acide sulfurique chimiquement pur. Pour éprouver la pureté de ce gaz, j'en ai mis dans *un* eudiomètre avec de l'hydrogène, dans un *autre* avec de l'oxygène, et j'ai brûlé les deux mélanges. Une série d'analyses de ce genre m'a montré qu'on n'obtient de cette façon que rarement un mélange détonant pur; tantôt il contient trop d'hydrogène, tantôt trop d'oxygène. Quand on chasse l'air de l'appareil et qu'on recueille ensuite les gaz, on trouve un excès d'hydrogène; quand on abandonne ensuite, après l'avoir fait fonctionner pendant longtemps, l'appareil (1) à lui-même pendant deux à trois jours, on obtient un excès d'oxygène (2).

Il est vrai que le peroxyde d'hydrogène se décompose déjà en partie à la température ordinaire, mais il ne se décompose même pas complétement à la température de l'eau bouillante, de sorte qu'on peut le concentrer par évaporation. Mais le gaz détonant qu'on prépare avec un appareil plongé dans de l'eau bouillante est parfaitement pur; c'est de ce gaz détonant que je me sers maintenant exclusivement dans mes analyses.

(1) Pour éviter les lavages continuels de mon appareil, j'en ai fermé le tube abducteur sous le mercure à l'aide d'un petit capuchon de caoutchouc.

(2) Cet excès est surtout considérable lorsqu'on plonge l'appareil avant ou pendant l'expérience dans de l'eau bouillante.

NOTES

SUR

QUELQUES ARBRES EMPLOYÉS DANS L'INDUSTRIE BRÉSILIENNE,

Par M. José de SALDANHA DA GAMA.

N'ayant pu terminer, avant mon départ du Brésil, la publication de la quatrième partie de mon travail sur les végétaux séculaires de ce pays, j'ai pensé qu'il ne serait pas sans intérêt de faire connaître aux botanistes, avant la fin de l'ouvrage, les propriétés et les usages de quelques arbres dont je viens de terminer la description. Quant à ceux du quatrième fascicule, ils seront rassemblés en un volume spécial qui fera suite aux trois premières livraisons (1).

ORDO MELIACEÆ.

CABRALEA CANGERANA.

Vulgo : *Cangerana* in *Parahyba do Sul* et in *Rio-de-Janeiro*.

Arbor alta parvo diametro. Cortex radicis dicitur amarus et febrifugus ; cortex trunci aliquando laminis irregularibus compositus sæpe extus horizontaliter striatus, striæ vero parallelæ longitudinales valde distinctæ. Lignum pulchrum, rubrum, subviolaceum, odore grato, non raro undulatum, modice densum (pondus specificum 0,768), perquam fissile, accommodatum, ut audivimus, in Itaguahy (*fasenda do Rio-Novo*) ad tabulas tenuissimas et minima fulcimenta oblinendum; inclementiæ cœli expositum aut in terra immersum perdiu incorruptibile. *Folia* imparipinnata; petiolo communi 30 cent. longo, arcuato, crasso, canaliculato, pubescente ; foliolis 17 (an magis?), oppositis, magnis, supe-

(1) *Estudo botanico dos Vegetaes seculares do Brasil.*

rioribus majoribus, 8 ad 13 cent. longis, 3 1/2 ad 4 cent. latis, brevissime petiolulatis, coriaceis, oblongo-ellipticis vel oblongo-subfalcatis, obtuse-acuminatis, ad basim acutis, inæqualibus obliquisque, integris infra inæqualiter expansis nonnunquam recurvis, in dorso leviter pubescentibus, penninerviis, nervo medio tantum in pagina inferiori valde prominente, nervis lateralibus alternis oppositisve, ad marginem bifurcatis, inter se junctis; in parenchymate foliorum cum lente glandulæ numerosæ clare intermixtæ. *Flores* numerosi in paniculas axillares dispositi, pedunculis longitudinaliter striatis. Sepala 5 imbricata, orbicularia, brevissima, reflexa, extus pubescentia, intus punctulata (ex specim. sicco). Petala 5 sepalis longiora et alternantia, membranacea, imbricata, oblonga, subreflexa, in floribus siccis rubro-violacea. *Stamina* 10 monadelpha, filamentis fere longitrorsum connatis, androphorum cylindricum in 20 crenis superne terminatum; antheris erectis, parvis, linearibus, cum crenis alternis, oblongis, intus tubo staminorum occultis. *Ovarium* liberum, 5-loculare, ovoideum, extus villosum, ovula minutissima in loculis gemina (an plura?); discus membranaceus, androphoro distinctus, ovarium superans et vaginans; stylo crassiusculo, stigmate discoideo coronato.

Obs. — Le *Cangerana*, dont nous avons observé les premiers individus dans la vallée de Parahyba du Sud, de la province de Rio-de-Janeiro, jouit d'une grande célébrité, soit à cause des propriétés fébrifuges de l'écorce très-amère de la racine, soit par l'immense valeur qu'on accorde à son bois dans les constructions civiles. Son tronc atteint environ 4 mètres de circonférence, et son bois, rouge foncé, odorant, de texture fine et délicate, produit des planches très-propres à faire des parquets, ainsi que de solides étais. Il entre dans presque toutes les constructions civiles, et résiste d'une manière remarquable à l'action de l'humidité. L'écorce des tiges les plus jeunes présente de la base au sommet de nombreuses stries horizontales fort régulières, également distancées les unes des autres, tandis que sur les tiges âgées l'écorce se divise quelquefois en lamelles de différentes grandeurs, et devient ainsi assez irrégulière.

L'aubier est presque nul dans cette espèce.

Ordo ERYTHROXYLEÆ.

Erythroxylum utile (1).

Arco de pipa dicitur in valle Parahybense (*fasenda de Monte-Christo in S. Fidelis*), sicut prope Rio-de-Janeiro (*Mendanha*).

Arbor pretiosa ; truncus nobis visus 3m,05 circuitu, altitudine proportionali ; cortex tenuis cujus suber in laminas minimas interdum divisus ; lignum pallide-rubrum, ponderosum (pond. spec. 1,071), notabili tenacitate, præsertim valde flexibile, quod probatur utcunque ad circulos usitatur ; in saburra aut in terra obrutum incorruptibile, et in aqua immersum ; fissile cuneo. *Ramuli* apice compressi. *Folia* alterna, stipulacea, stipulis axillaribus, coriacea, pleraque oblongo-lanceolata sive aliquando oblongo-elliptica, 5 usque 10 cent. aut ultra longa, 2 ad 5 cent. lata, petiolo canaliculato circiter 1 cent. longo in foliis junioribus pubescente, basi apiceque subacuta vel sæpius leviter obtusa, subtus nitida, in dorso pallidiora, ad marginem nec semper rugosa sive undulata, utrinque glabra (in foliis annosis), reticulata, integra, penninervia ; nervo medio in pagina inferiore prominente ; nervis lateralibus subtus vix prominulis, parallelis, oblique insidentibus. *Flores* parv 4 aut 5 in axillis foliorum congesti ; pedicellis pubescentibus, longis, quandoque involutis basi bracteis seu stipulis persistentibus. *Calyx* 5-partitus, segmentis ovatis vel deltoideis, acutis, subcrassis, tam in dorso quam in limbo pubescentibus. *Petala* non vidimus. *Stamina* 10, hypogyna, exserta, partim libera, filamentis capillaribus basi in urceolum membranaceum connatis, urceolo calycem superante sed pistillo breviore ; antheræ in specimine sicco deficiunt. *Ovarium* distinctum, superum, staminibus subæquale, compressum, 1-loculare, 1-ovulatum ; ovulo minutissimo ex apice pendulo, funiculo tenuissimo. *Fructus* 1 cent. longus, plano-convexus, angulatus vel longitudinaliter sulcatus, 1-locularis, marginibus introflexis. Semen..... Species de qua hic agitur hactenus nunquam descripta (?), a nobis autem visa inter manuscriptos magistri Dr Freire Allemao, qui folia et flores nobis obtulit.

Obs. — Dans un voyage à la *fasenda de Monte-Christo*, située sur la rive droite du Parahyba du Sud, on nous a montré un

(1) Cette espèce aurait été comprise dans les travaux de M. Martius.

arbre connu sous le nom d'*Arco de pipa*, qui, bien que petit, est très-recherché, à cause des remarquables propriétés de son bois. Nous en récoltâmes un tronçon, ainsi qu'un échantillon de feuilles, dont les stipules et l'alternance des feuilles nous rappelaient les Érythroxylées. Plus tard, chez notre maître Fr. Allemao, nous avons pu en examiner dans son herbier les feuilles et les fleurs sèches, accompagnées d'un petit fruit, et nous sommes resté convaincu que l'*Arco de pipa* appartient bien au genre *Erythroxylum*.

L'écorce se reconnaît immédiatement, à n'importe quel âge, aux petites pièces rectangulaires qu'elle présente à la surface.

Le bois, lourd, rouge, flexible, se laisse fendre facilement de haut en bas au moyen d'un coin. On l'emploie fréquemment aujourd'hui pour les traverses des chemins de fer, pour des pilotis, ainsi que pour fabriquer de petits ouvrages.

Si les tiges de l'espèce dont il s'agit ne sont ni les plus hautes, ni les plus grosses parmi les essences de nos forêts, elles sont en revanche l'une des plus généralement exploitées.

ORDO APOCYNEÆ.

ASPIDOSPERMA OLIVACEUM Müll.

ASPIDOSPERMA EBURNEUM All. (mss.).

Pequia-marfim dicitur in *Rio-de-Janeiro*, seu *Pequia-amarella* in *Parahyba do Sul*.

Species hic descripta interdum coma parva, angusta, et parum frondosa. Arbor circuitu trunco 2 m., plus minusve 20 m. altitudine, sæpissime frutex magnus, sicut vidimus in valle fluminis Parahyba necnon et in Tijuca, ubi folia, flores et fructus collegimus. *Truncus* aliquando rectus, elegans; cortex integer, subere tenuissimo, libro crasso (1 1/2 cent.), aliquando amaro; lignum pulchrum, luteum, aliquando albido-luteum, sæpe undulatum, leve (0,845), ebore simile, aspectu sericeum, omnibus laudatum et plerumque æstimatum ad egregia manubria ferramentorum efficienda, et quandoque ad opera tessellata tornatiliaque construenda, sed rarius ad mensas, cathedras, lectos, conficiendum, cujus color tamen evanescit utcunque sub luce solari perdiu permanet, perquam fissile.

Rami ramulique dense albido-verrucosi, glabri. *Folia* sparsa, 8-9 cent. longa, 3-3 1/2 cent. lata, longe petiolata, petiolo 3-4 cent. longo flexibilique, oblongo-subobovata, interdum oblongo-sublanceolata, coriacea, obtusa sive leviter acuta, ad basim acuta nec semper æqualia, integra vel undulata aut rugosa (ut sicca), supra nitida, glabra, subtus pallidiora sive pallide glauca, et cum lente pilis minutissimis albidisque, valde puncticulata; nervis lateralibus oblique insidentibus, in dorso vix perspicuis, sæpius 10 utroque latere, fere rectis; nervo medio supra impresso, sed in pagina inferiore aliquantum prominente. *Flores* parvi in cymas glabras laxifloras dispositi. *Calyx* gamosepalus, tubo brevissimo, dentibus 4, late ovatis, acutis, suberectis, extus puberulis. *Corolla* tubulosa calycem valde superans, extus puberula; lobis 4 rotundis, imbricatis; tubo nonnunquam ad basim angustato, intus piloso. *Stamina* 4 inclusa, subsessilia, cum indumento corollæ connata; antheris subcordatis v. oblongo-ovatis, acuminatis, glabris, subbasifixis, bilocularibus, longitudinaliter dehiscentibus, introrsis. *Ovaria* 2 supera, extus pubescentia, pluriovulata; stylo tenuissimo. *Folliculi* 2 superficie albido-verrucosi, sublignosi, stipite crasso, mucronati, 5 1/2 cent. longi, 2 1/2 cent. lati. *Semina* 5 alata, ala membranacea, crassiuscula, flava aut lutea, elliptica, translucida, usque 4-4 1/2 cent. longa, 2 1/2 cent. lata; embryo centralis, 2 cent. longus, 13 mill. lat. *Fructus* in mense junio collectus.

Obs. — Nous venons de décrire un arbre fort intéressant, et dont la tige s'élève ordinairement à 20 mètres de hauteur. Le tronc en est généralement droit, et toujours d'un diamètre assez faible. L'écorce externe est unie, mais l'interne est remarquable par l'épaisseur de son liber, dont les feuillets contiennent un principe amer et rougeâtre. Le bois, jaune, léger, joli, quand il est jeune et récemment mis en œuvre, semblable à l'ivoire, jaunit et perd toute sa beauté lorsqu'il reste exposé à la lumière; il est si doux au contact de la main et s'échauffe si difficilement par le frottement, qu'on l'estime partout comme le plus excellent bois pour faire des manches d'instruments. Si on le frotte soit avec un morceau de verre, soit avec n'importe quel objet rude, il devient luisant comme le satin. On le fend sans effort; on s'en sert fréquemment pour la marqueterie, les travaux de tour, pour fabriquer des coffrets, des encadrements, etc. Autrefois on le recherchait pour la fabrication des tables, des chaises, des lits; mais on l'a délaissé, par la raison que sa

belle couleur jaune finit par disparaître au bout de quelque temps.

La cime de cet arbre est formée par deux grosses branches provenant de la bifurcation de la tige, lesquelles sont à demi inclinées en dehors, et se ramifient de telle façon, que la cime est toujours basse, étroite, et donne peu d'ombrage.

Il est très-difficile de préparer des échantillons de cette plante pour herbier, car la dessiccation fait détacher les pétioles, et il est presque impossible d'obtenir un échantillon sec garni de ses feuilles. Nous en avons récolté les fleurs et les fruits à la montagne de Tijuca, aux environs de Rio-de-Janeiro, sur un individu beaucoup plus petit que ceux que nous avons eu le bonheur de voir dans la vallée de Parahyba du Sud.

ORDO LEGUMINOSEÆ.

CENTROLOBIUM ROBUSTUM Mart.

Vulgo : *Eririba* in *Parahyba do Sul* et in *Rio-de-Janeiro*.

Arbor magna, pretiosissima, in terris feracibus crescens. Truncus 6^m,5 circuitu, 18^m,26 altitudine; lignum speciosum, flavo-roseum aliquando cum venis obscurioribus intermixtum, odore grato, et quamvis sit leve (0,741) et magni pretii frequentissime tamen usitatum ad fores interiores domorum faciendas et minimos postes seu MARCOS (ex lusit.) forium construendos, præcipue ad magnas portas inferiores ædium struendas, quæ inclementia cœli semper expositæ plusquam centum annos permanent; denique ad pulchra scrinia, tabularum margines, tigna, trabes tabulamentumque sæpe adhibendum; facile exsiccatur, ad exardescendum facile. Cortex rubro tingens. *Folia* imparipinnata, magna juniora, petiolo communi petiolulisque valde pubescentibus; foliolis magnis, junioribus 7 usque 17 cent. longis, 4-8 cent. latis, utrinque velutinis, in parenchymate pellucide punctatis, ovato-oblongis, chartaceis, basi obliquis v. rotundatis, breviter petiolulatis, apice acutis v. subacuminatis, integris, marginibus nonnunquam ad basim inæqualiter tumidis ; costa media subtus prominens, nervis lateralibus plerisque alternis et ad marginem foliolorum arcuatis. *Flores* in paniculas dispositi, pedunculis pedicellisque ferrugineo-pubescentibus. *Calyx* gamosepalus, parvus, punctulatus; dentibus 5 sublinearibus v. ovatis. *Corolla* papilionacea calycem superans, petalis unguiculatis glabrisque; vexillum latum, reflexum;

ovatum ; alæ et carina inæquales, subfalcatæ, vexillo angustiores et inter se liberæ. *Legumen*, addita ala, magnum 17 cent. longum, 5 1/2 cent. latum, indehiscens, apice lignosum cum spinis numerosis pungentibus longisque, 2-loculare ; ala valde coriacea, falcata, nunc sericea sublignosa, nunc ferrugineo-pubescens, subrugosa, superficie striata ; stylo persistente arcuato pungente. *Semina* 2, oblonga, transversa, compressa ; testa rubella.

Obs. — Les variétés de cette espèce, si vantée au Brésil, sont connues sous les noms vulgaires de : *Eririba violet*, *Eririba rose*, et *Eririba jaune*, selon les couleurs ou les nuances du bois proprement dit.

Elles vivent toujours dans des terrains fertiles des provinces de Rio-de-Janeiro, Espiritu-Santo, etc., et plus rarement dans la vallée du Parahyba du Sud.

L'écorce de cet arbre remarquable donne une couleur rouge. Son bois entre surtout dans la construction des escaliers ; si l'on en fait en effet les marches, on est sûr qu'elles se conserveront intactes pendant de longues années en présentant les caractères du marbre. On arrive à le priver très-facilement de la séve qu'il contient au moment de l'abatage ; il suffit tout simplement, pour cela, de le laisser exposé pendant quelque temps à l'air. Si l'on bâtit une grande maison en employant seulement les matériaux ligneux fournis par l'espèce dont il est question, on peut être assuré qu'elle durera plusieurs siècles. On en fait des grandes portes, des planchers, des fenêtres, des cadres, les portes extérieures des habitations; après un siècle de durée sous l'action des pluies et de la chaleur des tropiques, elles sont dans un état étonnant de conservation. A Rio-de-Janeiro on a récemment démoli des maisons construites depuis plus d'un siècle, et dont toutes les boiseries, soit extérieures, soit intérieures, faites d'*Eririba*, étaient aussi saines que si elles venaient d'être fabriquées. Voici un fait qui nous a été raconté par M. le professeur Allemao, le 29 avril 1872 :

« Jadis, nous dit-il, et pendant la vie du prêtre Couto, il y avait dans ce même endroit que vous voyez, une forêt immense d'*Eririba* qui a disparu peu à peu ; l'ancien maître de cette

fasenda éclairait toute l'usine avec des flambeaux du très-combustible bois d'*Eririba*. Ce bois brûle très-facilement, et il est fort difficile d'éteindre sa belle flamme. »

Il est aujourd'hui d'une extrême rareté sur les marchés de Rio-de-Janeiro; et l'on a tellement profité de ses qualités, qu'on est obligé de le faire venir à grands frais d'Itapemerim et d'Itabapoana, ce que tout le monde ne peut faire.

ORDO CORDIEÆ.

CORDIA ALLIODORA Ch.

Vulgo : *Louro* in Rio-de-Janeiro, seu *Frei Jorge* in provinciis Brasiliæ septentrionalibus.

Arbor magna, coma ampla. Truncus procerus; lignum odoriferum, leve, aspectu sericeum, ad magnas construendas inhabile, sed proprio, sicut vidimus, ad fores interiores ædium et fenestrarum effingendas, sicut ad specularia replaque obtinenda, sæpissime ad tabulatum, minimas capsas venustas tignaque æstimatum. In terra obrutum putrescit. *Folia* alterna, oblongo-ovata, rarius oblongo-obovata, ex specimine sicco coriaceo-rigida, majora 9 cent. longa, 4 cent. lata, petiolo 2 1/2 cent. longo, ad apicem acuta, mucronata, ad basim angustata inæqualiaque, integra, discolora, supra obscure viridia pilis stellatis numerosis subscabra, subtus opaca, stellato-tomentosa; nervo medio impresso, subtus vix prominentia; nervis secundariis alternis et in pagina inferiore vix prominentibus. *Flores* in paniculas terminales dispositi, pedunculati, pedunculis pubescentibus; bracteis coriaceis. *Calyx* gamosepalus, conicus, tubo longo extus tomentoso et longitudinaliter sulcato; dentibus 5 brevissimis. *Corolla* gamopetala, hypogyna, tubo calycem vix superante; lobis 5, dentibus cum calycinis lobis alternis, apice subrotundis. *Stamina* 4 (5?) subinclusa fauci corollæ inserta. *Ovarium* 4-loculare; stylo apice lobis 4 reflexis vel recurvis diviso.

Flores herbarii numerosi sed fere omnes imperfecti, servato tantum calyce.

OBS. — L'arbre en question que nous appelons *Louro*, se rencontre dans les différentes parties de l'empire brésilien. Sa croissance est assez rapide; sa tige grossit et s'élève au-dessus de la moyenne, et se termine par une large cime. Multiplié

au moyen de semis, on obtient, après huit années, un arbre complet et si gros, qu'on en peut tirer des planches. La plupart des arbres appartenant au genre *Cordia* ont l'avantage de se développer au milieu de nos forêts.

Leur bois odorant, léger, ne résiste pas à l'action de l'humidité; mais il est très-recherché pour faire les petites portes intérieures des maisons, ainsi que les lambris, etc.

Les charpentiers qui travaillent ce bois finissent, au bout de quelques heures, par éprouver une soif ardente, causée par la poussière que produit le sciage. Les copeaux ont, dit-on, la singulière propriété d'enlever toute l'humidité des mains des menuisiers, au point de rendre le travail désagréable pour eux.

MATÉRIAUX

POUR SERVIR

A L'HISTOIRE DE LA CELLULE VÉGÉTALE

RECHERCHES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES,

Par le Dr TCHISTIAKOFF,
Professeur extraordinaire de botanique à l'Université impériale,
et membre de la Société des naturalistes de Moscou.

DÉVELOPPEMENT DES SPORANGES ET DES SPORES CHEZ LES FOUGÈRES.

LES SPORANGES DES MARATTIACÉES (1).

Angiopteris longifolia.

Les sporanges de cette Fougère sont groupés en sores bisériés sur la surface inférieure des feuilles, près des extrémités des nervures latérales ; ils sont opposés ou alternes, ce qui pourtant ne dépend pas du nombre des sporanges, qui est pair ou impair (pl. 12, fig. 1), de même que ce nombre n'a pas de relation avec les sores qui peuvent avoir à leurs extrémités, soit une paire de sporanges, soit un sporange unique.

Les sporanges eux-mêmes sont des formations multicellulaires d'un vert blanchâtre à l'état jeune, et d'un brun clair à l'état de maturité ; leur extérieur, à cause de la grande convexité des cellules superficielles, semble, à l'œil nu, granulé.

Pendant le développement, les deux rangées se pressent l'une contre l'autre ; leur forme primitive, globuleuse, devient anguleuse ; il n'y a que la partie pariétale qui reste toujours convexe.

(1) Second mémoire imprimé en russe, janvier 1871, comme dissertation inaugurale. — Premier mémoire, *Polypodiacées*, in *Nuovo Giornale bot. ital.*, vol. VI, n. 1.

Tous les sporanges d'un même sore sont, pour ainsi dire, soudés par leurs bases (pl. 11, fig. 7), les sommets étant libres; ce qui a conduit les anciens botanistes (1) à leur donner le nom de « uniloculaires » ou libres, pour les distinguer des sporanges *multiloculaires* des *Marattia* et des *Kaulfussia*, chez lesquels ils sont soudés complétement.

Les sores sont munis à leur base de poils ramifiés (pl. 11, fig. 9) qui, à mon avis, ont la même signification morphologique que les paraphyses des Polypodiacées.

Le sporange complétement développé (pl. 11, fig. 10) n'offre pas une construction uniforme, et pourtant il n'y a pas ici de formations pareilles à l'anneau des Polypodiacées. La partie *pariétale* (supérieure) du sporange est formée de 2-3 couches cellulaires qui passent graduellement à la partie *dorsale* et à la partie *ventrale*, qui ne sont formées que d'une seule couche de cellules moins épaissies que celles de la partie pariétale. C'est à la partie ventrale que le sporange s'ouvre par une fente verticale.

Le fond du sporange est formé de tissu parenchymateux, à parois minces. La soudure des sporanges entre eux n'existe que dans les parties ventrale et latérale, tandis que la partie dorsale de chaque sporange est libre; de sorte que le fond des sporanges et les parties du tissu qui se trouvent entre eux sont un peu élevées au-dessus de la superficie de la feuille. Dans la partie ventrale supérieure il y a comme une sorte de ceinture incomplète, composée de quelques séries cellulaires un peu élevées au-dessus des autres cellules. Cette ceinture s'avance à travers le sporange, en arrière et en bas; son côté supérieur se perd entre les cellules pariétales, et n'est visible que sur son côté inférieur; elle apparaît sur une coupe longitudinale sous la forme d'une saillie composée d'un groupe de cellules (pl. 11, fig. 10, *a*). Je ne saurais dire si cette ceinture contribue à ouvrir le sporange; on pourrait peut-être la comparer au connecticule ou

(1) Schwartz, *Schrad. Journ.*, 1801, I, p. 306. — Willdenow et Bernhardi, *Zwei botanische Abschnitt über einige seltene Farrenkräuter*, 1802. — Q. F. Kaulfuss, *Enumeratio Filicum quas in itinere circa terram legit*, 1824.

anneau de quelques autres Fougères, par exemple des Gleichéniacées.

Les parois de toutes les cellules du sporange sont incolores, et ce n'est qu'à l'état de maturité que la seule paroi extérieure des cellules superficielles devient brune.

La première formation des sporanges commence même avant la différenciation des faisceaux vasculaires et des canaux gommeux. La superficie inférieure de la feuille où les sporanges doivent se former est parfaitement unie; plus tard cette superficie présente d'abord des élévations et des sillons dont le fond est formé par un tissu délicat, incolore. Ces élévations et ces sillons sont produits par la différence entre l'accroissement des portions du tissu, les unes correspondant aux espaces entre les nervures latérales, les autres à ces nervures elles-mêmes. Les premières régions du tissu s'accroissent plus que les autres, s'élèvent sur le niveau commun; les cellules s'emplissent de chlorophylle, tandis que le tissu des sillons et son épiblème restent incolores et délicats. Un peu plus tard (pl. 12, fig. 2), sur les surfaces de ces sillons primitivement unies, on aperçoit deux petits mamelons (coupe transversale par sore) : c'est la première apparition de deux sporanges opposés, et c'est alors que les faisceaux vasculaires et les couches des cellules gommeuses viennent se former.

Ainsi, déjà avant l'apparition des mamelons primitifs des sporanges, cette partie du tissu, destinée à former ces mamelons, se différencie; je lui donne le nom de *placenta* des sporanges, quoique ce terme ait ici un autre sens que pour les Phanérogames. Il est évident que la formation du placenta n'a aucun rapport avec l'apparition des faisceaux vasculaires, des cellules et des canaux gommeux, mais je ne voudrais pas dire qu'il en soit de même relativement au développement des sporanges, dont les premières traces se voient en même temps que la première différenciation des faisceaux et des canaux.

Dans la phase suivante (pl. 12, fig. 3), on voit quelque chose de semblable au dédoublement d'un seul mamelon; mais la fig. 2, pl. 12, nous explique parfaitement ce phénomène : ces mamelons sont produits par les divisions des cellules épiblématiques, ainsi

que sous-jacentes, en deux points distincts duplacenta, et nous reconnaissons, sur une coupe longitudinale passant par toute la rangée des sporanges, que dans cette direction tous les mamelons apparaissent de la même manière et comme s'ils étaient tous placés sur la base commune, en restant libres sur tous les autres côtés. Plus bas, le tissu placé entre les sporanges, par la division plus lente de ses cellules, agrandit le placenta commun et les bases des sporanges, qui s'éloignent les uns des autres. En même temps ces organes s'agrandissent par les divisions de leurs propres cellules internes et externes (pl. 12, fig. 2; pl. 11, fig. 5); les cellules de l'épiblème se divisent aussi *pour donner la place nécessaire aux descendants des cellules sous-jacentes,* et aussi pour agrandir les sporanges. Donc, ici les deux sortes de cellules prennent part à la formation du sporange.

Les sporanges reçoivent peu à peu leur forme définitive; cependant on voit une cellule provenant de cellules intérieures du sporange, et presque centrale dans le sporange, qui s'agrandit plus que les voisines (pl. 11, fig. 5), dont le contenu diffère peu de celui de la cellule centrale. Au fur et à mesure du développement du sporange, cette cellule s'accroît à son tour et conserve toujours son plasma trouble, abondant en petits granules, tandis que le contenu de ses voisines devient plus limpide et plus aqueux. Lorsqu'elle s'est divisée en deux (pl. 11, fig. 4), les deux cellules filles se divisent comme à l'ordinaire, produisant leur postérité par les cloisons d'abord radiales, puis tangentielles (pl. 11, fig. 6), d'où il suit que toutes les cellules dérivées se disposent en séries radiales.

Nous pouvons observer encore un autre mode de division dans les cas où la cellule centrale a la forme d'un tétraèdre, ainsi que je l'ai quelquefois observé. Des cloisons parallèles aux plans de ce tétraèdre coupent successivement l'une après l'autre les segments (pl. 11, fig. 8), tout à fait comme pour les deux premières divisions de la cellule tétraédrique d'un sporange des Polypodiacées; seulement ces divisions se répètent ici plusieurs fois, excluant les divisions tangentielles, qui n'apparaissent qu'à l'extrémité de l'ensemble multicellulaire dérivé de ces divisions et des divisions

radiales qui multiplient les cellules dans la direction des tangentes.

En tout cas, ces cellules dérivées sont les cellules mères des spores, et constituent durant leur développement un corps cellulaire qui resserre le tissu d'alentour et le désorganise peu à peu, ne résorbant que les cloisons celluleuses dont la substance se transforme en granulose qui se colore en bleu par I + KI. Cependant le plasma du tissu résorbé s'attache au corps des cellules mères en entretenant la liaison avec les parois du sporange.

C'est pour cette raison qu'il est possible de séparer ce corps quand les cellules ne sont pas encore détachées les unes des autres (pl. 13, fig. 11) ; ordinairement le plasma l'enveloppe de tous côtés. Ce plasma a déjà perdu quelques-unes de ses propriétés ordinaires; il est plus dense, n'absorbe pas d'eau et ne forme des vacuoles que sous l'influence des sels alcalins (1).

Suivant MM. Fischer de Waldheim et Russow (2), ce serait là l'*epiplasma*, mais l'histoire de leur développement montre que c'est le *pseudo-epiplasma*, qui, chez les Polypodiacées, n'a son origine que dans l'accroissement des cellules déjà formées, tandis qu'ici il se forme durant leur multiplication et leur développement ultérieur.

Ces corps des cellules mères ont ordinairement la forme de reins (pl. 13, fig. 11) ; quelquefois on y aperçoit des lignes tranchantes qui sont constituées par des cloisons celluleuses, plus épaissies que les autres, et je ne saurais rien dire sur l'origine de ces lignes, sinon qu'elles constituent peut-être les limites des régions des descendants des cellules reproductives dont chacune est semblable à la cellule centrale tétraédrique, c'est-à-dire qu'il y avait plusieurs centres de multiplication des cellules, quoique peut-être ces centres n'aient pas été représentés par les cellules à forme tétraédrique. Si cela était ainsi, nous aurions une forme

(1) Wimmel croyait que le plasma s'absorbe aussi dans des anthères (*Bot Zeit.*, 1858. p. 28).

(2) *Mém. de l'Acad. des sc. de Saint-Pétersbourg* (chez les Polypodiacées et autre Cryptogammes), 1872.

de multiplication des cellules mères intermédiaire entre les deux formes extrêmes décrites ci-dessus.

A cette époque, les sporanges atteignent leur forme définitive, quoique les cellules pariétales soient encore en division (pl. 11, fig. 7, 8, 10).

Les poils naissent de cellules extrêmes du placenta (pl. 11, fig. 3) ; comme exception, ils se forment quelquefois même des cellules superficielles du sporange (pl. 12, fig. 4).

En général, l'épiblème du placenta prend part à la formation des sporanges, comme je l'ai déjà décrit. Les sporanges se développent sur la base commune, qui est agrandie aux dépens du tissu plus profond ; ils croissent ensemble, et si cet accroissement des bases avait commencé dès la première apparition des mamelons des sporanges, nous eussions eu quelque chose de semblable aux sporanges de *Marattia*, *Danæa* et *Kaulfussia* (1).

Comparés aux Polypodiacées, les sporanges de l'*Angiopteris*, à première vue, présentent une complication provenant de ce qu'ici l'impulsion à leur développement est donnée collectivement par plusieurs cellules épiblématiques, tandis que chez les Polypodiacées il ne commence et ne continue que par une seule cellule épiblématique. Mais il ne faut pas oublier qu'*il est nécessaire de donner de la place à la division des cellules sous-jacentes qui s'accroissent pendant cette époque préliminaire*, et je crois bien qu'une pareille origine d'un organe ne donne pas de raisons suffisantes pour considérer de semblables formations comme des trichomes.

Ainsi, les sporanges de l'*Angiopteris* représentent, avec les sporanges des Ophioglossées d'un côté, et ceux des Équisétacées de l'autre, l'intermédiaire entre les sporanges des Polypodiacées et les anthères des Phanérogames. En effet, ces organes décrits chez les Équisétacées par M. Hofmeister (*Vergl. Unters.*, p. 97) représentent le passage des sporanges des Polypodiacées à ceux des Marattiacées.

(1) M. Luersen a obtenu plus tard (*Bot. Mittheil.*, 1872?) des résultats contraires dans son travail sur le développement des sporanges de *Marattia*, mais il n'a vu que quelques phases, et, comme je le crois, non sur les coupes centrales.

Il est très-probable que les Ophioglossées ont les sporanges les plus compliqués que les Fougères, d'après leur mode de développement, qui ressemble peut-être à celui des anthères; mais d'après ce qui a été dit plus haut, il n'y a pas de raisons suffisamment sérieuses pour accepter les considérations de M. Martius sur ce sujet (*Conspectus regni vegetab.*, 1835, p. 3), accueillies du reste par des botanistes éminents de notre temps, et les séparer des autres Fougères pour en former un groupe particulier correspondant à celui des Équisétacées.

Si nous prenions le même critérium pour les Marattiacées, dont les sporanges doivent être aussi compliqués que ceux des Ophioglossées (par exemple chez les *Marattia*, *Danæa*, *Kaulfussia*), nous devrions les séparer aussi des Fougères et y placer au contraire les Équisétacées, dont les sporanges ressemblent à ceux des Polypodiacées. S'il ne fallait considérer une plante comme Fougère que dans le cas où elle a les sporanges des Polypodiacées, cela reviendrait à dire qu'il existe d'abord un idéal fixe d'une Fougère; et si une plante ne correspond pas tout à fait à cet idéal, elle doit être mise en dehors du groupe, qui ne représenterait alors que des Polypodiacées.

LES SPORES DES MARATTIACÉES.

Angiopteris longifolia.

Anatomie des spores mûres. — Les spores parfaitement mûres ont une membrane très-complexe : la superficie est parsemée de petits tubercules de différentes grandeurs; comprimée, elle présente les couches, ou pour mieux dire, les membranes spéciales suivantes :

1. La membrane la plus interne, de cellulose; elle touche le contenu : c'est le vrai *endosporium* (*end.* fig. 13, pl. 2). Il est assez fortement adhérent au contenu, transparent, incolore et élastique, et montre la différenciation des aréoles plus et moins denses; en un mot, il a toutes les propriétés des vraies membranes celluleuses. Cette membrane est recouverte en dehors

par une autre membrane à trois couches (α, β, γ, fig. 13), et qui par conséquent doit être appelée : 2.) l'*exosporium*. Elle est aussi incolore et fragile; par la potasse même diluée, elle se colore en jaune d'or foncé, ce qui la rapproche des membranes cuticulaires; mais elle n'offre *jamais* comme celles-ci la réaction de la cellulose. Elle possède la propriété optique de présenter la coloration bleue en dehors et rouge en dedans, ce que j'ai déjà remarqué pour les spores des Polypodiacées et ce qu'on observe fréquemment dans une foule d'autres membranes qui donnent pourtant la réaction de la cellulose. J'attire l'attention sur ce phénomène optique très-fréquent, car il a été jadis attribué par quelques auteurs à l'action des réactifs (1).

La couche la plus interne de cette même membrane (γ, fig. 13) possède également des aréoles plus et moins denses, disposées en forme de rayons.

Plus en dehors sur cette couche reposent deux autres membranes (α, β, fig. 13, pl. 12), dont les propriétés sont les mêmes que celles de la couche γ, mais plus prononcées; pourtant elles n'ont pas ces aréoles plus et moins denses, et une solution de potasse les colore en jaune rougeâtre. Les tubercules, de grandeur inégale et arrondis. semblent provenir immédiatement de la couche α et leur disposition n'est subordonnée à aucune règle fixe. Ces tubercules ont les propriétés de la couche γ par rapport à la réaction de la potasse.

Mais cette structure de l'*exosporium* n'est propre qu'aux spores âgées ; les spores plus jeunes, ou peut-être plus fraîches, en diffèrent. Ces spores comprimées (fig. 14, pl. 12) présentent *trois* membranes bien distinctes :

1. La membrane interne, qui a les propriétés de la cellulose, l'*endosporium*.

2. En dehors, deux couches d'*exosporium*, qui présentent les propriétés décrites à propos de la couche γ (fig. 13, pl. 12); mais ici elles sont très-épaisses et toutes deux offrent des *aréoles*

(1) Fischer de Waldheim, in *Pringsh. Jahrb.*, Bd. IV, p. 375.

plus et moins denses, disposées de telle manière qu'elles se correspondent toujours dans les deux couches.

3. Enfin la membrane externe (fig. 14, pl. 12) est transparente, fragile, incolore; la surface extérieure est légèrement sinueuse, tandis que la surface interne possède des impressions correspondant aux éminences de la couche précédente. Cette membrane extérieure se détache très-facilement des autres par la pression exercée sur la spore; elle ne se teint, ni par la potasse, ni par aucun autre réactif, et, comme les deux couches de la membrane précédente, elle ne se dissout, ni dans les acides, ni dans les alcalis. Sur les préparations des fig. 13 et 71, cette membrane n'existe plus. Je lui donne le nom de *perisporium* (1), donc les deux couches précédentes représentant l'*exosporium*. Nous verrons que ces dénominations correspondent aussi bien à leur évolution qu'à leurs propriétés physiques et chimiques.

En effet, une coupe très-fine (fig. 12, pl. 12) nous montre précisément les relations qui existent entre ces couches et les autres. On voit que celles qui forment l'*exosporium* (*ex*) ont les rapports anatomiques les plus intimes; les aréoles plus denses de la couche interne se prolongent à travers la couche extérieure.

Le *perisporium*, qui n'est pas tout à fait incolore, est toujours transparent, et recouvre très-exactement l'*exosporium;* mais l'adhérence n'est pas durable, comme je l'ai déjà fait observer.

Nous avons ici, comme dans le cas des Polypodiacées, la membrane générale de la spore composée de trois membranes spéciales à propriétés physiques et chimiques tout à fait différentes; ces membranes sont : le *perisporium*, l'*exosporium* à trois couches et l'*endosporium*.

Quant au contenu des spores mûres, il consiste en une matière

(1) Pour distinguer cette sorte d'épisporium de ce qui existe sur les oospores de Champignons (*Peronospora*, *Cystopus*), où il s'est formé d'une tout autre manière, c'est-à-dire aux dépens de *vrais epiplasma* (de Bary, *Ann. des sc. nat.*, 4e série, t. XX).

plasmatique, mais surtout en huile qui ne se dissout ni dans les acides, ni dans les alcalis; elle forme de grosses gouttes qui remplissent complétement l'intérieur de la spore et masquent la substance plasmatique.

Il existe de véritables spores *composées* de structure parfaitement semblable à celle des spores du *Sphærocarpus terrestris* (fig. 74, pl. 14), dont je décrirai plus tard le développement.

DÉVELOPPEMENT.

Dans ce cas présent, comme pour les Polypodiacées, je divise toute l'histoire du développement des spores en deux grandes *périodes*.

1. A partir de la séparation des cellules mères jusqu'à la première apparition de la membrane propre.

2. Depuis la formation de cette membrane jusqu'à la maturité.

PREMIÈRE PÉRIODE.

Les cellules mères, comme nous l'avons déjà vu, forment un corps entier; il se laisse extraire du sporange, mais toujours avec une altération complète du contenu de ses cellules, qui adhèrent très-faiblement l'une à l'autre par leurs membranes primaires à double contour, épaissies par la matière gélatineuse. Ces couches d'épaississement s'étendent facilement dans l'eau. On remarque en outre que non-seulement quelques filets plasmatiques restent très-souvent au milieu de la substance gélatineuse d'épaississement qui va resserrer le reste du contenu au centre,mais encore que ces mêmes filets, dans deux cellules voisines, se réunissent souvent ensemble en pénétrant à travers les membranes primaires. Ce phénomène s'explique suffisamment par la pression nécessaire pour extraire du sporange le corps des cellules mères; car, au moment où les cellules vont se séparer par résorption de la couche la plus externe, leur membrane est plus faible qu'auparavant. Faut-il admettre ici l'existence de canaux dans les couches d'épaississement? Je ne

le crois pas, parce qu'à un âge un peu plus avancé je n'ai pas retrouvé ces pores. Je dois rappeler ici que la distension des couches d'épaississement s'effectue d'abord aux dépens de l'eau du plasma encore contenue dans le sporange ; le plasma, en se contractant sous l'influence de la pression exercée sur le sporange, cède son eau à la matière gélatineuse qui se distend en même temps et suit le plasma (1), quoiqu'il n'y ait pas ici de vacuoles ni de filets plasmatiques. Mais cette rétraction du plasma vers le centre ne peut s'effectuer en même temps dans tous les points de la périphérie : les couches gélatineuses gagnent d'abord les espaces abandonnés successivement par le plasma en absorbant l'eau que ce dernier a dû mettre en liberté dans ces mêmes points.

Après leur séparation, les cellules mères sont encore plus sensibles ; car la matière gélatineuse d'épaississement est plus hygroscopique qu'auparavant. Elle est capable de s'étendre dans l'eau presque jusqu'à la dissolution, et si nous ne savons pas éliminer l'influence rapide de l'eau et des autres agents, nous n'observons alors que des cellules représentées sur les fig. 16, 39, où les couches d'épaississement sont étendues jusqu'au maximum, et le plasma contracté en flocons irréguliers rendus opaques par de grosses granulations (fig. 39, pl. 13). De pareilles cellules me semblent conserver trop peu de leur vitalité pour pouvoir être soumises aux expériences ; il est trop évident qu'elles sont complétement détruites. Mais si l'expérience est convenablement ménagée, nous observons, dans les sporanges, des cellules séparées dont la physionomie est extrêmement différente de celle des cellules mortes ; la matière gélatineuse ne présente alors qu'une couche d'épaississement de moindre dimension (fig. 42, pl. 13), le plasma n'est point granulé (fig. 15, pl. 12), et j'ai réussi à maintenir les cellules dans cet état pendant deux et trois heures en ne les laissant pas absorber d'eau, ou bien en

(1) Comme l'a fait remarquer M. Hofmeister, à propos des cellules mères des spores d'*Anthoceros lævis* (*Vergl. Untersuch.*, p. 7-9). Dans l'expérience de M. Hofmeister, l'alcool joue le même rôle qu'ici la secousse mécanique ; car, dans les deux cas, le plasma a dû donner son eau aux couches d'épaississement.

évitant à volonté cette absorption. J'ai ainsi observé l'action de l'eau sur le plasma et les autres parties pendant un temps plus que suffisant. D'après de nombreuses expériences, je puis dire ici que le plasma de ces cellules et, je crois, des cellules en général, est excessivement sensible aux secousses mécaniques, ainsi qu'aux agents chimiques, tels que les sels et l'*eau ;* car l'imbibition du plasma par l'eau peut être considérée comme une réaction chimique.

D'après les mêmes expériences, je puis dire aussi que les cellules sont tuées par l'action immédiate de l'eau sur le plasma. Nous devons considérer cette influence comme une réaction chimique, car dans les substances organiques telles que le plasma, l'eau joue le rôle principal pendant ces changements; d'un autre côté, la constitution chimique de plusieurs substances organiques, surtout des substances très-complexes (et le plasma l'est au plus haut point), très-différentes par leurs relations chimiques : elles ne se distinguent l'une de l'autre que par le nombre de molécules d'eau ; par conséquent le plasma, en prenant de l'eau, est détruit par suite d'un changement de constitution.

On verra les résultats lorsque j'exposerai les faits obtenus par l'élimination des autres agents qui sont les suivants : les changements de température; le simple contact des cellules extraites du sporange entre elles, quand elles se rencontrent; le contact de la lame de verre qui vient couvrir la préparation, etc.; toutes ces circonstances font que le plasma abandonne son eau aux couches d'épaississement et se contracte en un flocon grossièrement granulé (fig. 16, pl. 12). Il est bien facile de comprendre pourquoi la même chose ne se produit pas dans les cellules au dedans du sporange, où existent les mêmes conditions, c'est-à-dire des couches gélatineuses d'épaississement toujours disposées à absorber l'eau du plasma et à resserrer leur contenu. La plante est aussi toujours soumise aux secousses mécaniques, mais elle ne renferme pas l'agent qui se présente dans toutes les observations microscopiques, le liquide de la préparation. Si les couches d'épaississement n'absorbent pas l'eau du plasma dans leur état naturel,

c'est parce que la force organique qui retient l'eau, comme la composition chimique du plasma, est plus grande que la tendance des couches gélatineuses à absorber cette eau ; ici la force chimique est plus forte que la force physique. Mais lorsqu'une cellule est plongée dans un liquide, aussitôt les couches gélatineuses, en recevant beaucoup d'eau, en s'étendant considérablement, exercent une pression sur le plasma, pression qui diminue l'affinité chimique de celui-ci pour l'eau, à tel point que cette force devient au moins égale à la tendance de la matière gélatineuse à absorber l'eau du plasma. Les forces organiques du plasma sont ainsi en équilibre instable sous l'influence de la pression ; si la dernière n'est pas trop considérable, la moindre secousse mécanique peut forcer le plasma à céder son eau à la matière gélatineuse et à se contracter momentanément (fig. 16, pl. 12). Si l'on ajoute encore l'influence des changements de température qui rendent le plasma plus sensible aux agents extérieurs par la même raison que la pression, on comprend pourquoi les cellules mères dont il s'agit meurent très-rapidement au dehors, tandis qu'elles se développent au dedans du sporange.

Si quelque secousse mécanique atteint les cellules dans ces dernières conditions, aucune force extérieure, aucune solution n'empêche la matière gélatineuse de s'emparer de l'eau que le plasma abandonne en un instant. En d'autres termes, avant l'existence des conditions indiquées, lorsque les cellules sont encore au dedans du sporange, l'eau est retenue dans la substance du plasma par une force d'une autre nature que la force physique, et la déshydratation du plasma n'est autre chose que sa décomposition chimique ; donc l'absorption de l'eau par le plasma n'est point un phénomène physique, mais une réaction chimique.

En ne laissant la matière gélatineuse s'étendre qu'en partie, ce qui est nécessaire pour extraire les cellules des sporanges, en prenant toutes les précautions pour éviter les secousses mécaniques et les autres agents qui peuvent donner aux forces chimiques du plasma un équilibre instable, nous pouvons faire nos

expériences très-commodément, et observer les phénomènes les plus instructifs.

J'ai réussi à faire ces expériences, et ma méthode est bien simple : observer une même cellule en dehors du sporange, et remarquer tous les changements qui se manifestent dans le plasma lorsqu'il absorbe de l'eau, et qu'il ne suit que son affinité naturelle pour cet agent, dont le rôle important, dans ses modifications, est reconnu par tous les botanistes. D'après les changements dans l'aspect du plasma, j'ai pu juger de ce qui se passe dans sa substance. On verra, d'après quelques expériences, que c'était la méthode la plus rationnelle. Quant aux procédés pratiques, ce n'est ici ni le temps ni la place de les décrire, d'autant plus que j'ai reconnu que ces procédés sont particuliers aux différents cas qui se présentent. J'ai donc résolu de ne publier les détails des manipulations qu'après avoir fini toute la série des recherches actuelles, qui seront bientôt terminées.

Pour le moment, je n'aurai à exposer que les faits et les considérations qui ne s'appliquent qu'à ce cas spécial. Je ne citerai de détails historiques que lorsque ce sera absolument nécessaire; car exposer l'histoire de la question serait répéter tout ce qui est connu sur le développement des spores en général, d'autant plus que ces faits sont bien constatés, et chacun saura bien s'orienter au milieu d'eux, en y faisant simplement allusion.

Les expériences sont répétées plusieurs fois sur chacune des phases de développement avec des microscopes de M. Hartnack, pendant les années 1869-1870 (1).

PHASE I.

(Pl. 12, fig. 15, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*.)

Une cellule mère est mise en expérience et suivie pendant les changements du plasma qui absorbe de l'eau graduelle-

(1) J'ai étudié les spores des Polypodiacées en 1867-68 et les sporanges d'autres familles en 1866; mon mémoire russe a été imprimé en janvier 1871, et je suis toujours arrivé aux mêmes résultats.

ment (fig. 15, *a*,*b*,*c*,*d*,*e*) ; c'est une cellule correspondant immédiatement à l'époque qui suit la séparation des cellules mères.

a.) Avant l'action de l'eau sur le plasma, nous observons d'abord la couche extérieure de la membrane à double contour (la membrane primaire), et la couche d'épaississement déjà suffisamment distendue (*a*). La matière hygroscopique de cette couche reste incolore avec tous les réactifs de la cellulose, et elle a un indice de réfraction presque aussi faible que l'eau.

Pendant ce temps, le contenu se présente sous forme d'une goutte ellipsoïde, d'une matière demi-liquide, homogène, à peine jaunâtre, plastique, transparente, et sans aucune granulation ; ce plasma est même aussi brillant qu'une goutte d'huile, plus obscure sur ses bords à cause de sa forme ellipsoïdale, qui ne correspond cependant point à la forme extérieure de la cellule. Cette différence provient de ce que la matière demi-liquide du plasma a une tendance à prendre la forme sphérique, tandis que la membrane extérieure, par sa forme, diminue cette tendance, qui finit par prédominer lorsque le plasma a absorbé assez d'eau (dessinée en *a*).

b.) Après quelques instants, le centre du plasma s'éclaircit peu à peu, prend des contours distincts sous forme d'une ligne très-fine, elliptique (*b*) ; mais ce n'est ni une membrane, ni une couche de matière, c'est une vraie ligne mathématique, c'est-à-dire une limite entre deux matières différentes : la partie périphérique du plasma, en prenant une certaine quantité d'eau, devient plus trouble et moins transparente, et se différencie du centre, qui absorbe évidemment une quantité d'eau différente (dessinée en *b*).

Explication. — En effet, si nous faisons attention aux différences optiques considérables entre ces deux parties qui n'existaient pas auparavant, nous devons en conclure que ces parties du plasma sont de densités différentes, ce qui ne peut provenir que de la quantité différente d'eau qu'elles renferment. Mais si nous acceptons cette explication, nous devons admettre aussi que c'est en vertu d'une différence chimique que les diverses parties du plasma prennent plus ou moins d'eau, c'est-à-dire que

la constitution chimique de la partie périphérique diffère de la partie centrale, quoique cette différence soit peut-être très-faible.

c.) Après une demi-minute, les bords de la sphère centrale deviennent un peu troubles, comme s'ils étaient très-finement granulés, et cette légère granulation s'étend peu à peu jusqu'au centre de la sphère. Un peu plus tard, la même transformation commence aussi dans les parties périphériques de la sphère externe du plasma, qui devient un peu trouble et délicatement granulé; mais son indice de réfraction est tellement faible, qu'il se distingue à peine de celui de la matière gélatineuse. — Cependant la couche la plus externe du plasma conserve sa consistance première, ce qui permet de la considérer également comme différenciée du reste du plasma par l'action de l'eau, et en vertu des mêmes principes, c'est-à-dire par suite des différences d'imbibition qui existent entre la couche périphérique et le reste de cette région du plasma. Pour le moment, je l'appellerai *couche périphérique du plasma.*

Dès cette époque, le plasma *est* déjà *à demi-mort*, quoiqu'il conserve encore quelques propriétés physiques de la matière plasmatique, et que la granulation grossière ne se manifeste que dans la sphère centrale. Voici sur quoi je fonde mon opinion.

Il est certain que le plasma vivant n'absorbe, d'après M. Nägeli, aucune solution de sels ni de colloïdes ; cette absorption n'a lieu qu'au moment où le plasma va mourir. Les phénomènes qui suivent constatent l'exactitude de cette loi. A partir du moment que je viens de signaler, le contenu de la cellule agrandit son volume, et prend une forme sphérique qui ne correspond pas à la forme extérieure de la cellule, quoique celle-ci soit un peu arrondie; mais l'agrandissement de volume du plasma s'effectue par l'imbibition de la matière gélatineuse qui se dissout dans l'eau et entre dans le plasma comme dans un corps poreux; la couche périphérique du plasma ne s'y oppose pas, car elle est maintenant également granulée. En effet, nous voyons que le contenu touche la membrane extérieure, ce qui n'avait pas lieu auparavant (dessinée en *c*).

Explication. — Ainsi nous voyons que dans le plasma, la sphère centrale est le point de départ de la destruction du plasma par l'action de l'eau, car c'est elle qui présente d'abord les granulations, la sphère extérieure vient ensuite ; et c'est par la transformation de cette dernière que va apparaître la couche périphérique du plasma.

Quant à la réalité de l'absorption de la solution gélatineuse, les phénomènes ultérieurs sont plus éloquents que les raisons qu'on peut donner.

d.) Pendant cinq ou sept minutes, cette absorption, ou, pour mieux dire, cette condensation de la matière gélatineuse entre les molécules du plasma à moitié désorganisé va toujours croissant. Toute la matière gélatineuse d'épaississement a disparu ; le volume du contenu est tellement agrandi, qu'il touche la membrane extérieure dans tous les points (dessinée en *d*).

Mais outre la solution gélatineuse, le plasma prend aussi une certaine quantité d'eau ; c'est pourquoi son volume est plus grand que l'espace de la matière gélatineuse absorbée, et qu'il touche non-seulement la membrane primaire dans tous les points, mais qu'il exerce encore sur elle une pression en forçant la cellule de s'arrondir. Dans cet état, notre cellule reste près de dix minutes. Cependant nous voyons ici les changements ultérieurs du plasma : la couche périphérique a pris la même consistance que le reste du plasma, ce qui a facilité l'absorption de la matière gélatineuse par le contenu, et la sphère centrale présente à sa périphérie une couche qui est relativement plus dense, mais qui est produite de la même manière que la couche périphérique du plasma qui va disparaître aussi quelques instants plus tard par l'action de l'eau, et quand la sphère centrale sera devenue complétement granuleuse.

e.) Le plasma, qui a dépassé son pouvoir d'imbibition, devient aussi manifestement granulé, et, refoulé contre la membrane de la cellule, il expulse au dehors la partie de la solution qu'il a absorbée.

A partir de ce moment, il faudra beaucoup de temps pour apercevoir les nouveaux changements du plasma ; pendant des

heures entières, il reste comme il est dessiné en *e* ; puis il va se résoudre peu à peu en petites molécules animées du mouvement brownien. L'expérience est finie. Voilà les phénomènes. Il y a ici trois questions importantes.

Explication. — 1. Quel degré de vitalité conserve la cellule en passant de l'état *a* aux états *b*, *c*, *d*, *e*?

2. Comment expliquer que la matière gélatineuse peut se dissoudre dans l'eau, si elle représente la matière d'épaississement, et qu'est-ce que cette matière ?

3. La sphère centrale du plasma est-elle en effet une sphère indéterminée, et qu'est-ce que cette couche périphérique du plasma ?

A propos des deux premières questions, on peut citer les faits suivants : En employant un liquide qui ne cède point son eau à la matière gélatineuse, la cellule ne passe qu'à l'état *b* ; dans ces conditions, la matière gélatineuse ne s'étend pas et présente une couche d'épaississement assez mince (fig. 42, pl. 13); la cellule reste inaltérée pendant plus de trois à quatre heures; enfin la sphère centrale devient granuleuse, et le contenu se convertit en un flocon.

Si nous soumettons une cellule tout à fait vivante (comme par exemple en *a* et *b*, fig. 15) à quelque forte secousse mécanique, par exemple à la pression, le contenu se contracte subitement, et la cellule présente l'aspect de la fig. 16. Dans cet état, il n'absorbe point la solution de la matière gélatineuse, bien qu'il puisse passer pour un corps poreux, mais je ne crois pas qu'il le soit. Dans ce cas, le plasma est parfaitement mort dans toutes ses parties; il a perdu son élasticité en vertu de laquelle les interstices capillaires peuvent s'élargir pour absorber la solution de la matière gélatineuse. Ce flocon contracté reste invariable pendant plusieurs heures, et ce n'est qu'après qu'on le voit se dissoudre en granules animés du mouvement moléculaire.

De même, si nous soumettons les cellules de l'état *c*, *d*, *e*, à la secousse mécanique, leur contenu subit également la contraction brusque en abandonnant tout d'un coup la solution

qu'elles ont absorbée, et le plasma présente un flocon grossièrement granulé, comme sur la fig. 16, incapable d'absorber une solution quelle qu'elle soit et d'augmenter son volume. Cela veut dire que la cellule, dans l'état *c*, *d*, *e*, conserve encore quelque vitalité. Mais il faut expliquer maintenant comment il se fait que le plasma peut prendre une quantité de solution de la matière gélatineuse qui va disparaître complétement, ce qui est évident.

Ici la désorganisation du plasma ne s'est effectuée qu'en partie; sans quoi il serait impossible de comprendre sa contractilité. Quelques parties du plasma conservant encore leur élasticité, elles forment le réseau capillaire dont les interstices sont par conséquent capables de s'étendre, et contiennent les parties déjà mortes du plasma ; par leur élasticité, elles peuvent absorber la solution de la matière gélatineuse, ce qui n'a pas lieu dans le contenu complétement contracté sous l'influence de la secousse mécanique.

Sans doute, je n'ai pas vu ces interstices ; personne n'a vu, ni les interstices capillaires des membranes cellulaires, ni ceux des grains d'amidon, et pourtant nous les admettons pour expliquer la distension de ces corps. Dans le cas actuel, ils nous expliquent tous ces phénomènes : propriété du contenu à se dilater et à se contracter, absorption de la solution d'un colloïde, absence de granulation grossière dans la sphère externe et faible indice de réfraction.

Le fait que la sphère centrale acquiert la granulation plus rapidement que le reste du plasma, qu'il n'augmente pas de volume, et par suite qu'il n'absorbe pas la solution durant tous les changements du plasma, mais reste toujours distinctement granulé, nous indique que le centre du plasma est toujours plus sensible et plus dense que le reste, car en devenant granulé plus tôt, il se transforme en flocon complétement désorganisé, sans interstices capables de se dilater ; c'est pourquoi il ne peut pas condenser la solution dans son sein.

Ainsi donc, le plasma, en mourant, perd d'abord la résistance aux solutions, mais son élasticité est la propriété la plus

fixe ; *en restant contractile, il peut donc jouer le rôle d'un corps poreux.*

Les états *a* et *b* sont les plus sensibles aux secousses mécaniques ; il suffit d'un léger tremblement de la table, du passage rapide d'une voiture dans la rue ou d'un choc des cellules les unes contre les autres, pour que leur contenu se contracte subitement. Les états *c* et *d* sont les plus résistants aux secousses, mais ils sont peu durables ; car bientôt ils passent à l'état *e*, et je crois bien que, dans la plupart des cas, ce sont des cellules de l'état *e* qu'on a observées.

Ceci touche à notre troisième question relative à la différenciation de la sphère centrale dite *nucleus* par les auteurs ; mais c'est aux faits positifs que je laisserai le soin de résoudre s'il y a ici identité entre cette sphère et le nucléus.

PHASE II.

(Pl. 12, fig. 17, *c*, *e*.)

Une autre cellule mère, à peine plus âgée que la précédente, est soumise exactement à la même expérience.

a.) Avant l'action de l'eau, nous observons la même chose que dans l'état *a* de la phase précédente, il n'y a aucune différence, et je n'ai rien à ajouter à ce que j'ai dit à propos de la cellule fig. 15, *a*. C'est pour cela que je n'ai pas dessiné cet état.

b.) Cet état de l'action de l'eau correspond parfaitement à l'état *b* de la cellule précédente ; la même physionomie du plasma, la même sphère centrale, les caractères de toutes les parties sont les mêmes ; je ne l'ai donc pas dessiné non plus. Mais la cellule passe bientôt à l'état *c*, et nous voyons une différence.

c.) Au milieu de la sphère centrale, une autre sphère plus petite apparaît aux yeux de l'observateur ; son apparition s'effectue de la même manière et dans les mêmes conditions, relativement à la sphère plus grande, que l'apparition de cette

dernière relativement au plasma ; du reste, cette petite sphère a les mêmes caractères que la grande ; ses changements, sous l'action de l'eau, se font de la même manière. C'est cette petite sphère qui est envahie d'abord par la granulation (dessinée en *c*) qui se propage ensuite sur la sphère plus grande, et enfin sur toutes les parties du plasma jusqu'à la périphérie, où l'on n'observe point *la couche périphérique,* quoique cet état corresponde à celui de la cellule figure 15, dans lequel on l'observe.

Le plasma absorbe ici également la solution de la matière d'épaississement et arrive à toucher la membrane primaire, mais pas dans tous les points. J'ai laissé cette cellule pendant une demi-heure dans les mêmes conditions, et je n'ai pas réussi à voir le plasma toucher complétement la membrane primaire ; il était évident que la matière gélatineuse était alors moins soluble qu'auparavant. Après l'addition de la teinture d'iode qui tue complétement la cellule, j'ai obtenu une préparation comme celle que tout le monde observe ordinairement (dessinée fig. 17, *e*). Le plasma granulé, *nucleus* (auct.) granulé, et *nucleolus* (auct.) plus granulé encore. Le contenu ne rend au dehors que très-peu de la solution absorbée. Il est sans doute complétement mort sous l'influence de l'iode ; mais par sa structure il est parfaitement semblable à l'état *e* de la figure 16, qui, par conséquent, est également morte ; cependant le plasma de la cellule dont il s'agit maintenant a perdu sa propriété principale, sa contractilité ; il ne se contracte plus sous l'influence d'une cause mécanique : nous trouvons qu'après l'addition de l'iode, c'est la sphère interne qui se plisse le plus, et, tandis qu'auparavant elle occupait presque toute la région de la grande sphère, elle n'occupe plus que peu de place.

Explication. — Cette phase touche un peu la troisième question de la phase précédente. Ces deux sphères, quel que soit leur nom, peuvent-elles être considérées comme des parties morphologiques du plasma ? Je ne le pense pas. Si ces parties étaient différenciées morphologiquement, pourquoi ne voyons-nous

point les sphères avant l'action de l'eau ; et si ce dernier phénomène était accidentel, comment expliquer cette succession dans leur apparition? comment comprendre que la petite sphère a, avec la sphère plus grande, les mêmes rapports que cette dernière avec le reste du plasma?

Si c'étaient des parties morphologiques du plasma, c'est-à-dire des organes, comment expliquer que nous ne voyons point la petite sphère dans la phase précédente? Est-il possible d'admettre que cette partie a pu s'organiser morphologiquement pendant le temps écoulé entre ces deux phases? Évidemment non ; puisque la seconde cellule est prise à sa partie périphérique du corps des cellules mères, et que la première provient d'une couche voisine d'un autre sporange, dans laquelle les cellules sont plus jeunes. J'ai vérifié cela sur des cellules retirées d'un même sporange, et si je représente les cellules des divers sporanges, c'est par la raison qu'il est impossible de suivre deux cellules en même temps et de les dessiner exactement. Il faudrait supposer que les sphères des deux phases se sont organisées morphologiquement pendant l'observation et sous les yeux de l'observateur, ce qui serait absurde.

La petite sphère, en se contractant, diminue davantage de volume, elle a donc pris plus d'eau que les parties environnantes ; mais elle n'a pu absorber plus d'eau qu'en vertu de son pouvoir d'imbibition plus considérable, c'est-à-dire que cette région du plasma est plus dense que les autres : elle n'était pas visible auparavant parce que ses limites n'étaient pas définies ; elle s'est montrée parce que le plasma environnant, en absorbant l'eau, abaisse son indice de réfraction, tandis que la région centrale conserve encore les propriétés optiques primitives. Plus tard les sphères concentriques absorbent également de l'eau plus que le plasma; leurs indices sont égaux à celui du plasma ; mais en vertu de leur densité plus grande, elles se distinguent par leur granulation plus grossière, elles sont plus opaques. Dans la phase I, la région périphérique de la sphère centrale conserve ses propriétés optiques parce qu'elle absorbe la même quantité d'eau ; mais, dans la phase II, nous ne la

voyons point : il est évident qu'ici la petite sphère est plus dense que la sphère qui l'entoure, et que cette dernière l'est plus que le reste du plasma.

Nous avons vu que l'apparition de ces sphères s'effectue de la périphérie au centre, et que leur altération par l'eau, la granulation, commence dans le même sens, c'est-à-dire que c'est d'abord la petite sphère qui est attaquée ; mais nous avons observé aussi que l'altération de chaque partie, prise à part, commence par sa périphérie.

Mais les sphères qui viennent d'être décrites sont-elles en effet ce qui a été pris pour le *nucleus* et le *nucleolus* des auteurs ?

La question sera résolue si, en suivant les changements progressifs du plasma, nous trouvons dans ces sphères les mêmes phénomènes que ceux qui ont été décrits par les auteurs comme s'effectuant dans le *nucleus* et le *nucleolus*. Ces questions sont les plus difficiles à résoudre, car nous ne trouvons, dans la littérature botanique, que des faits isolés très-peu explicites et une grande confusion dans les considérations sur le sort du nucléus et nucléole. Un auteur dit que le nucléus va se dissoudre (Hofmeister), après quoi il se forme deux nucléus ; d'après un autre observateur, il faut au contraire admettre que le nucléus primaire se divise (Mohl, Pringsheim, Schacht) ; d'après un troisième, il faut supposer que le nucléus primaire se dissout, et qu'il ne se forme qu'un nucléus secondaire qui se divise ensuite en deux (Nægeli). Mais nous ne trouvons rien sur *le rôle du nucleolus*. Il est difficile de comparer les phénomènes décrits par ces auteurs ; il m'a fallu faire une foule d'observations secondaires sur les spores et le pollen, mais toujours d'après la méthode ordinairement employée ; j'ai dû comparer ces observations avec les dessins et des textes différents, et je dois avouer que je suis arrivé aux mêmes résultats qu'eux, c'est-à-dire que les *suppositions* de M. Nægeli se rapprochent le plus de la vérité. En effet, j'ai trouvé que si dans quelques-unes des phases du développement on n'observe point le *nucleus*, on l'observe dans d'autres ; mais il est déjà divisé en deux ou directement en

quatre (!), ce qui a lieu dans les phases plus avancées. Ainsi tous les auteurs ont raison d'une manière générale (1).

Il faut observer que les cellules mères, chez l'*Angiopteris longifolia*, sedivisent tantôt en une fois et tétraédriquement, en quatre, tantôt à deux reprises (la position des cellules spéciales dans un plan ou dans deux plans verticaux), ou bien elles se divisent à plusieurs reprises (la position des cellules dérivées est irrégulière). L'expérience suivante a trait à une cellule qui se prépare à se diviser en une fois, c'est-à-dire tétraédriquement.

PHASE III.

(Pl. 12, fig 23, *b*, *c*, *d*.)

Un exemplaire d'une même cellule, un peu plus âgée que la précédente, est mis en expérience dans les mêmes conditions qu'auparavant.

a.) Avant l'action de l'eau, il se passe exactement la même chose que dans les deux phases précédentes : aucune sphère; plasma transparent, sans granulation, etc. Il est superflu de donner le dessin de cet état.

b.) Une seule sphère centrale apparaît aux yeux ; aucune autre sphère, aucune couche périphérique du plasma ; la sphère centrale a trois (quatre) lignes plus sombres disposées tétraédriquement et qui atteignent à peine ses bords (dessinée en *b*).

c.) Quatre ou cinq minutes après, la granulation envahit la sphère sur sa périphérie ainsi que des lignes tétraédriques; aucune couche périphérique ; le contenu augmente son volume, mais il ne peut absorber la solution de la matière gélatineuse d'épaississement qu'en partie, car il ne touche pas la membrane primaire de la cellule (dessinée en *c*).

(1) Je ne démontre pas ici ce résultat; chacun saura bien reconnaître les faits, et ce n'est pas la place de comparer les observations; elles sont connues, mais nous n'y trouvons presque aucune considération théorique sur le rôle du *nucleus*, sujet de mes recherches.

d.) Cinq ou dix minutes plus tard, une granulation distincte se propage dans le contenu jusqu'aux limites externes; la périphérie est plus distinctement granulée, mais la couche périphérique n'a pas de contours nets sur son côté intérieur.

Les lignes tétraédriques, ainsi que la sphère centrale, deviennent plus grossièrement granulées, mais le plasma diminue de volume; il se contracte un peu, tandis que dans la sphère la contraction n'a lieu que dans les régions où les lignes tétraédriques touchent la circonférence de la sphère: il semble que la sphère veut se diviser tétraédriquement par étranglement; l'espace entre le contenu et la membrane, rempli de matière gélatineuse, augmente, parce que le plasma a diminué de volume (dessinée en *d*).

En soumettant cette cellule aux secousses mécaniques, le plasma et la sphère centrale se contractent en flocons granulés dans lesquels on voit quatre boules plus sombres qui se touchent et sont plongées dans un plasma granulé, mais moins foncé.

Explication. — Il est évident maintenant que c'est la sphère centrale si prononcée par l'action de l'eau qui a été prise par les auteurs pour le nucléus, et comme une partie morphologique du plasma. Plusieurs d'entre eux parlent souvent de division du nucléus par l'étranglement; mais si l'on observe le nucléus dans un état moins altéré, on ne peut admettre une pareille division, et nous avons vu d'où provenait cet étranglement. En effet, nous trouvons dans la littérature deux indications sur les divisions du nucléus sans étranglement. D'abord M. Nægeli (1) a représenté la division de cet organe comme effectuée par une *ligne divisante* et non par l'étranglement.

M. Schacht (2) avait fait la même observation pour les nucléus des sporanges des Polypodiacées. Ces observations sont justes, quoiqu'elles n'expliquent point pourquoi les autres observateurs ont parlé toujours d'étranglement. Les lignes tétraédriques ne m'empêchent pas de reconnaître l'identité de cette

(1) *Zeitschrift für Wissensch. Bot.*, tab. I, fig. 38.

(2) *Bot. Zeitg*, 1849, p. 353, tab. VIII, fig. 10. Lui-même : la division du *nucleus* en quatre parties (*Bot. Zeitg*, 1847, tab. VIII, fig. 10, *g*).

sphère et du nucléus, car les phénomènes décrits se rapportent au nucléus. Donc, la question de la nature de la sphère centrale est parfaitement résolue, et pour le moment j'appellerai ce *nucleus* auct. la *sphère centrale*. Il ne me reste qu'à résoudre la question de l'origine de tous ces phénomènes.

Les états *c* et *d* nous prouvent positivement que les *lignes divisantes* ne sont autre chose que la position de lamelles plasmatiques très-fines; dans l'état *d*, elles se sont contractées plus que les autres parties de la sphère, parce qu'elles contiennent plus d'eau. Pour diminuer de volume, il faut diminuer quelque chose; ces lamelles éliminent donc plus que les autres parties. Nous voyons aussi que le caractère de la granulation de ces lignes est le même que celui de la granulation de la périphérie du plasma; ce qui veut dire que les densités de ces parties sont les mêmes; leur apparition sous l'influence de l'eau tient à la même cause : ces lamelles, ainsi que les sphères centrales du plasma, sont susceptibles de prendre plus d'eau que les autres parties du contenu.

La matière gélatineuse n'est absorbée qu'en partie, parce qu'elle est endurcie, condensée dans la région voisine de la membrane primaire; ce sont leurs parties les plus jeunes, au voisinage du plasma, *sécrétées plus tard*, qui sont capables de se dissoudre dans l'eau et d'être absorbées par le plasma. La condensation de la matière d'épaississement se produit donc de la périphérie au centre de l'extérieur à l'intérieur.

PHASE IV.

(Pl. 12, fig. 18, *c*, *d*.)

a.) Après avoir traversé cet état où l'on ne voit aucune sphère, aucune trace de division, la cellule revient à l'état *b*, où l'on ne voit qu'une sphère sans les lignes.

c.) Nous y retrouvons la couche périphérique du plasma plus distinctement prononcée que dans la phase III. On pourrait l'appeler *sac primordial*. On voit la grande sphère (nucléus) s'agrandir relativement plus que dans les phases III et II,

toucher presque la périphérie du plasma. On aperçoit maintenant en outre *deux sphères plus petites* (nucléoles), entre lesquelles on remarque une couche de la même substance plasmatique sous forme d'une lamelle à double contour ; la densité et la consistance se rapprochent davantage de celles du contenu environnant où elle va se perdre. A un grossissement plus faible, cette couche se présente comme une ligne noire (dessinée en *c*).

Il n'est pas difficile de reconnaître ici la division du nucléus, après la division du nucléole ; mais la cellule passe à l'état (*d*), où la plus grande sphère (nucléus) ainsi que le plasma environnant sont devenus granulés ; sur la périphérie de l'un et de l'autre, on aperçoit les couches périphériques du plasma. Pas de nucléole ; pas de lamelle divisante.

La substance gélatineuse d'épaississement est endurcie, condensée, à tel point qu'elle ne peut se dissoudre dans l'eau, ni par conséquent être absorbée par le plasma, qui n'augmente que très-peu de volume en prenant la forme sphérique (dessinée en *d*).

Explication. — Dans l'état *c*, la plus grande sphère se produit par le même procédé que dans la phase I, les sphères plus petites par le même procédé que dans la phase II ; c'est-à-dire qu'elles se forment parce que le plasma, dans certaines régions, et la lamelle divisante sont plus denses qu'elles, et que leurs indices optiques ne sont pas encore changés ; mais, à l'état *d*, l'eau pénètre dans ces parties du plasma et égalise leurs indices de réfraction, ce qui n'a pas lieu pour les couches périphériques de la sphère centrale et pour celles du plasma. Toutes ces parties se sont donc produites, en vertu des mêmes propriétés du plasma, par les différences de leurs pouvoirs d'imbibition.

PHASE V.

(Pl. 12, fig. 19, *c*, *f*.)

a.) Le même que dans la précédente.

b.) Le même que *b* des précédentes phases.

c.) Est différent. Nous trouvons que la *plus grande sphère* s'est

encore agrandie davantage en s'emparant de la presque totalité du contenu ; elle a perdu de nouveau sa couche périphérique, qui a acquis la même densité que les autres parties de la sphère. Mais cette sphère est dédoublée en deux moitiés dont la forme indique leur origine primitive. Les sphères plus petites sont agrandies aussi, seulement maintenant elles ne disparaissent plus sous l'influence de l'eau (dessinée en *c*, 19).

Tué par la secousse, le contenu de cette cellule forme un flocon granulé de plasma dans lequel nous ne pouvons distinguer que les plus petites sphères sous la forme de boules plus sombres, tandis que les parties de la plus grande sphère sont disparues à leur tour (dessinée en *f*, 19).

Les mêmes phases sont représentées fig. 20 *c* et 21 *f*, où l'on voit les cellules à moitié tuées par l'eau ; la sphère plus grande n'existe plus. Aucune couche périphérique du plasma.

Dans cette phase, la granulation commence, comme toujours, dans les parties centrales du contenu et, comme auparavant, précisément sur la périphérie de chaque partie.

Explication. — Il est évident que la sphère plus grande est devenue moins résistante à l'influence de l'eau ; sa couche périphérique ainsi que celle du plasma ont acquis le même caractère, la même densité que les autres parties de ces régions. Mais les deux petites sphères sont devenues plus solides, plus résistantes, car elles ont acquis une densité plus grande, ce que nous voyons d'après leur consistance après la contraction.

La lamelle plasmatique a acquis les propriétés du plasma environnant la grande sphère, et par suite les moitiés de cette sphère sont séparées par une région de substance ayant les propriétés de ce plasma.

PHASE VI.

(Pl. 12, fig. 22, *b*, *c*, *f*; fig. 24, *b*, *d*; fig. 25, *b*, *c*.)

Expérience I. — Division à deux reprises (fig. 22, *b*, *c*, *f*).

a.) La même chose comme toujours : pas de parties distinctes dans le plasma.

b). On voit apparaître deux ellipsoïdes, la couche périphérique du plasma et la lamelle plasmatique entre les sphères, toutes de même densité et toutes plus denses que les autres parties du plasma. Les moitiés de la sphère plus grande de la phase précédente n'existent pas du tout. Les sphères actuelles occupent les positions des sphères plus petites de la phase précédente (dessinée en *b*). La lamelle divisante se prolonge jusqu'à la couche périphérique.

c.) La granulation envahit les sphères, puis la lamelle et la couche périphérique (dessinée en *c*).

f.) Le contenu, tué par la secousse mécanique, se contracte en flocon dont la périphérie et les sphères sont plus grossièrement granulées; la lamelle plasmatique se contracte davantage en faisant un sillon sur la circonférence du contenu, simulant une division par l'étranglement (dessinée en *f*).

Expérience II.— Division en quatre en une fois (fig. 24, 25).

a.) Avant l'action de l'eau, la même chose.

b.) Trois sphères, couche périphérique et quatre lamelles plasmatiques divisantes, disposées tétraédriquement, apparaissent en même temps par l'action de l'eau. Leurs propriétés sont les mêmes que précédemment (dessinées 24, 25, *b*, *b*).

c.) La granulation envahit les sphères, etc. (dessinée 25, *c*).

d.) Le contenu se contracte un peu ; on voit que la lamelle plasmatique divisante, en devenant plus granulée, n'atteint pas la couche périphérique, ce qui a lieu dans le cas de la fig. 25. Sur la circonférence, on aperçoit trois petites sinuosités comme une indication d'un commencement de division par étranglement (dessinée fig. 24, *d*).

Explication. — Cela veut dire que les moitiés de la grande sphère de la phase précédente ont acquis les propriétés du contenu environnant, tandis que les petites sphères sont agrandies et se produisent par le même procédé.

La lamelle divisante, qui dans la phase précédente n'était représentée que par la région étroite du plasma entre les moitiés de la grande sphère, est maintenant plus dense et a atteint la couche périphérique. Elle est plus dense parce qu'elle est gra-

nulée au même degré que les sphères et la couche périphérique, en produisant les sinuosités sur la circonférence du contenu.

Quant à la matière gélatineuse, elle ne se dissout plus du tout et le plasma n'augmente pas de volume, car il ne prend que peu d'eau, et elle le fait mourir par la pression contre la matière gélatineuse, qui ne peut s'absorber et donner au plasma la place nécessaire pour agrandir son volume.

Peut-on, d'après cela, considérer les *sphères* et la *couche périphérique* du plasma comme des organes différenciés morphologiquement, comme des nucléus ou nucléoles et le « *sac primordial* »? Et cependant ces organes sont précisément les équivalents de ce que j'ai indiqué, dans tous les détails. Si l'on considérait l'état *c* (fig. 19, pl. 12), on pourrait parler de croissance des nucléus, des nucléoles, et de renaissance de la couche périphérique du plasma (*Primordialschlauch*).

En effet, M. Unger a déjà indiqué la régénération du *sac primordial*, au lieu duquel apparaissaient deux nouveaux *sacs* (1).

M. Hugo de Mohl (2) a parlé de croissance du nucléus : il dit qu'aussitôt après sa formation, il est plus petit que plus tard; d'où il conclut que la croissance du nucléus est incontestable.

Si j'admettais que le nucléus, les nucléoles et la couche périphérique sont ici des formations morphologiques, j'aurais pu croire avoir trouvé non-seulement la croissance du nucléus et la régénération du sac primordial, mais encore l'origine des nucléoles nouveaux, leur développement, le remplacement du nucléus primaire par les nucléoles (phase II), la croissance du nucléus secondaire, sa division (phase III), la formation des nucléoles second (phase IV) et le remplacement des moitiés du nucléus par des nucléoles qui se développent aussi (phase V). Ce seraient là les circonstances contraires à la théorie de la dissolution de cet organe, démontrant en même temps que sa division s'effectue de la même manière que celle du plasma,

(1) *Anat. und Physiol. d. Pflanz.*, p. 133-134.
(2) *Vegetabil. Zelle*. 1851, p. 56.

d'après les idées actuellement admises et non par étranglement. Mais je ne crois pas avoir contesté ces théories. Quoique nous ayons vu que l'étranglement du nucléus a un droit parfaitement contestable, d'après mes observations, je dois reconnaître que nous n'avons point ici, ni de ces organes, ni de « *sac primordial* », différenciés morphologiquement tels que les auteurs les admettent; nous avons vu d'où provenaient ces organes. Lorsqu'elles ne sont pas altérées, les cellules n'en ont point, et les indications des auteurs me font croire que mes observations sont exactes, car je n'ai fait que remplir des lacunes qui existent dans leurs observations. Il suffit d'écarter les premiers résultats de l'action de l'eau sur le plasma, pour être conduit aux considérations qu'on a admises jusqu'ici; il suffit d'oublier que l'étranglement du plasma est ici un phénomène artificiel pour construire la théorie de la division par l'activité du « *sac primordial* », qui resserre le contenu de la périphérie au centre par sa propre force. Mais si nous prenons en considération ce qui vient d'être décrit et ce qui était jusqu'ici inconnu, nous verrons que le « *sac primordial* » n'existe point comme différencié morphologiquement, car il se forme de la même manière que les sphères internes, et par conséquent il a les mêmes propriétés, les mêmes rapports avec le contenu, ainsi qu'avec les agents extérieurs. Quelquefois, nous le voyons bien développé, d'autres fois à peine prononcé, d'autres fois encore il n'existe pas du tout. Il n'a donc point une activité physiologique permanente, de même que les sphères internes; c'est tout le contraire de ce qui caractérise un organe à fonction constante. Y a-t-il moyen d'admettre que le « *sac primordial* », maintes fois indiqué dans des cas analogues, existe ici? Et cependant la division s'effectue comme à l'ordinaire, le plasma se divise, il se change, quoique en observant seulement les états inaltérés par l'eau, nous serions dans l'incertitude sur ce qui se passe dans son sein, car dans toutes les phases pendant l'état *a* il se présente uni, transparent même, sans granulation. Donc nous devons admettre qu'au sein du contenu il y a quelques forces, quelques changements progressifs du plasma lui-

même qui le conduisent à la division. Où devons-nous chercher ces forces, ce point de départ de changements inconnus? Quels sont ces changements, quel est leur caractère? combien ont-ils de degrés? quelles réactions chimiques, etc.? Voilà des questions de la plus haute importance, non-seulement pour le cas spécial qui nous occupe, mais encore pour la physiologie en général.

PHASE VII.

(Pl. 12, fig. 26.)

a.) L'état *a* comme toujours; mais on voit le plasma divisé par des fentes; ces fentes sont plus prononcées au centre et se présentent comme des lignes vraies.

b.) L'état *b* nous montre que ce sont les lamelles plasmatiques plus denses qui vont se dédoubler chacune en deux feuillets. Dans les portions du plasma, nous voyons les mêmes sphères et la couche périphérique. Mais il est impossible de conserver cette préparation même pendant le temps nécessaire pour la dessiner à la chambre claire, la cellule passe aussitôt à l'état de la figure 27, à l'état *c*. C'est à cause de l'extrême sensibilité du plasma pendant cette phase que je donne les dessins des divers exemplaires des cellules (1).

c.) Les fentes divisantes s'élargissent. Des portions du plasma séparées par des espaces très-étroits sont comme remplies d'une matière liquide. Le plasma se contracte presque instantanément.

PHASE VIII.

(Pl. 12, fig. 27.)

Les états *a* et *b* n'ont pas été observés.

c.) Les espaces étroits entre les portions du plasma sont remplis de matière liquide simulant des cloisons solides à double

(1) Par cette raison, la figure 26 n'est que la schéma, dessiné après que je me fus persuadé par plusieurs expériences que les lignes divisantes ne sont pas des cloisons.

contour. Les portions ont des sphères plus grandes (nucléus) au milieu desquelles on aperçoit de nouveau les sphères plus petites; la couche périphérique des portions disparaît de nouveau, ce qui me fait croire que cette phase est plus avancée, car l'aspect du plasma correspond parfaitement à celui de la phase II (fig. 17), tandis que la phase VII, par l'aspect du plasma, correspond à la phase I (fig. 15).

Explication. — Ceci veut dire que le plasma des portions commence un nouveau cycle de changements, semblable à celui que nous avons suivi jusqu'ici.

Le dédoublement des lames de division s'effectue presque instantanément, et immédiatement après l'action de l'eau la matière liquide ou semi-liquide, mais gélatineuse, apparaît dans ces fentes (VII). Plus tard ce n'est pas par cette manipulation, mais par sécrétion naturelle que les fentes se transforment en espaces remplis d'une matière semi-liquide et gélatineuse qui protége la séparation des portions ; elle est sécrétée maintenant en vertu d'une fonction naturelle. Nous voyons donc que les lignes noires ou claires (suivant la position du foyer) des fig. 22, 24, 25, ne sont pas encore des cloisons solides.

Quant aux espaces remplis de matière gélatineuse entre les portions dans la phase VIII, les expériences suivantes font ressortir à leur égard les faits les plus remarquables et les plus instructifs.

PHASE IX.

(Pl. 12, fig. 28.)

Expérience. — Une cellule à peine plus âgée que la précédente, car son plasma a de nouveau la *couche périphérique*, est mise en expérience. Après avoir passé par les états *a* et *b*, la cellule arrive à l'état *c*, et immédiatement après à l'état *d*, où l'expérience commence.

d.) Sous l'influence de l'eau, les portions plasmatiques augmentent de volume en se comprimant l'une l'autre ; la matière gélatineuse qui se trouve entre elles se dissout dans l'eau et

s'absorbe par le plasma. Les portions plasmatiques se touchent de nouveau.

e.) Les couches périphériques se réunissent, et les parties représentent maintenant de nouveau un corps entier dont la superficie nous montre des sillons à l'endroit où la réunion des portions s'est effectuée (dessinée en *d*), présentant d'autant mieux l'aspect d'un plasma qui voudrait se diviser par étranglement que ce corps plasmatique se laisse extraire artificiellement (dessinée en *e*).

Enfin les quatre sillons disparaissent complétement, et le plasma avec quatre nucléus ne présente plus aucune trace de la division; la cellule ressemble maintenant beaucoup à celles qui, d'après les auteurs, vont se diviser; mais après quelques heures le plasma se désorganise et se résout en granules.

La matière gélatineuse de la cellule commune ne se dissout et ne s'absorbe point.

Explication. — On peut faire cette expérience de deux manières. Si l'on veut observer l'altération du plasma sous l'influence de l'eau, il ne faut pas le laisser prendre l'eau rapidement; les résultats de pareilles expériences ne sont pas représentées, je me suis borné à les citer; mais dans ce cas les portions ne se réunissent pas.

Si l'on veut au contraire observer la réunion des portions plasmatiques, il faut laisser prendre beaucoup d'eau au plasma; les portions se réunissent, mais il est impossible de voir l'altération graduelle du plasma sous l'influence de l'eau; c'est pourquoi le plasma a passé très-rapidement les états *a*, *b* et *c*, dont je n'avais pas besoin. Dans le premier cas, les portions ne se réunissent pas comme dans le second, parce que la quantité d'eau n'est pas suffisante pour dissoudre la matière gélatineuse.

Comme les portions plasmatiques sont les couches périphériques, qui peuvent se réunir pour former de nouveau une couche périphérique commune, nous avons encore un fait de plus qui confirme l'existence du « *sac primordial* » comme organe différencié morphologiquement. Donc, après la division du plasma par des fentes, il arrive presque en même temps l'*individuali-*

sation des portions par la sécrétion de la matière gélatineuse, toute semblable à celle qui épaissit la membrane de la cellule mère.

Par conséquent cette matière, que je nommerai *matière d'individualisation*, ne représente pas encore dans cette phase la cloison solide qui, d'après les auteurs, vient se former d'abord pour construire les cellules spéciales.

PHASE X.

(Pl. 13, fig. 32, 33.)

Une cellule à peine plus âgée est mise dans des conditions où elle ne peut prendre que peu d'eau.

a.) Le plasma a l'aspect normal.

b.) La matière d'individualisation ne se dissout pas ; les portions ont les sphères centrales et aucune couche périphérique (dessinée fig. 32, *b*) ; la cellule est morte par accident.

Une autre cellule de même âge est mise en expérience dans des conditions à pouvoir prendre beaucoup d'eau. Après avoir passé rapidement par les états *a* et *b* identiques avec ceux de l'expérience précédente, la cellule arrive à l'état *c*.

c.) Une des portions a dans sa sphère centrale une autre sphère plus petite (nucléoles) et aucune couche périphérique du plasma. Une autre portion n'a pas de sphère plus petite, mais elle a la couche périphérique ; cette portion s'est altérée plus profondément par l'eau : la sphère centrale s'est contractée, et les filets plasmatiques provenant de la destruction du plasma environnant l'attachent à la couche périphérique (dessinée en *c*, fig. 33).

La matière d'individualisation ne se dissout pas ; les portions compriment l'une l'autre, et la seconde portion s'altère davantage.

d.) Dans la première portion, la sphère centrale plus petite a disparu, envahie par la granulation.

Dans la seconde portion, la même chose que précédemment. La matière d'individualisation ne se dissout pas (dessinée en *d*).

e.) Dans la sphère centrale de la première portion, on voit de nouveau la sphère plus petite, mais tout est déjà grossièrement granulé. Aucune couche périphérique. La seconde portion commence à se contracter en formant des plis. La matière d'individualisation ne se dissout pas (dessinée en *e*).

Explication. — Nous voyons que le développement n'est pas au même degré dans les deux portions : la première est moins avancée, car l'aspect de son plasma est encore identique avec celui du plasma de la phase VIII (fig. 27) ; la disparition de la plus petite sphère sous l'influence de l'eau s'explique ici par les mêmes causes que dans la phase IV (fig. 18), ce qui nous démontre encore une fois que dans chaque portion commence le même cycle de changements.

La matière d'individualisation s'est condensée jusqu'au point où elle n'est plus soluble dans l'eau, et l'individualisation des portions s'est effectuée complétement.

PHASE XI.

(Pl. 13, fig. 29-31, 34.)

Elle nous démontre parfaitement ce que je viens de dire. La quantité de la matière d'individualisation est considérablement augmentée ; la densité s'est accrue de sorte qu'elle ne peut plus s'absorber ni être classée par la compression des portions plasmatiques ; il est donc impossible que les portions se réunissent de nouveau. Et cependant les changements qui précèdent la division primaire s'effectuent au sein des portions primaires dans le cas de division à deux reprises.

Cellule de la figure 34 nous montre que dans une portion la division secondaire commence déjà au centre du plasma, tandis que l'autre portion est retenue dans l'état de la phase VIII (fig. 27), mais la sphère plus petite touche presque les bords de la grande sphère. Aucune couche périphérique. On peut observer comme exception la division des portions après la division tétraédrique (fig. 30).

On peut faire pendant cette phase une expérience très-élégante

et instructive. On met une cellule dans des conditions où elle absorbe beaucoup d'eau ; on produit la distension de la matière d'individualisation et de la matière d'épaississement de la cellule mère commune jusqu'à ce que la cellule se rompe; les portions s'échappent petit à petit au dehors, où le plasma reste tout vivant, transparent, capable de se contracter, etc. La portion peut s'étrangler pendant son passage à travers l'ouverture, et les deux parties ont alors la sphère centrale dans l'état *b*, comme si elle était encore dans l'intérieur de la cellule ; on ne voit à leur superficie aucune rupture, aucune inégalité.

Tout cela démontre que dans cette phase il n'y a pas de *couche périphérique;* les parties étranglées sont aussi capables de se contracter sous l'influence des secousses mécaniques, ce qui témoigne de leur vitalité. Les portions plasmatiques ou leurs parties restent vivantes au dehors presque pendant une heure avant qu'elles commencent à se contracter et à devenir granulées, et elles passent par les mêmes états que si elles se trouvaient dans l'intérieur de la cellule mère ; j'ai remarqué même que les portions restées au dedans de la même cellule meurent plus vite que celles qui sont sorties, ce que nous devons attribuer à la pression de la matière gélatineuse.

PHASE XII.

(Pl. 13, fig. 35-38, 39, 48.)

Après que les portions plasmatiques sont individualisées, on voit deux phénomènes se produire simultanément, l'un au sein du plasma des portions, l'autre au sein de la matière d'individualisation.

Les portions primaires (fig. 36) n'ont pas la couche périphérique au moment où elles vont se diviser, ou aussitôt après cette division (fig. 35, 37, 38), tandis qu'avant cette époque, les deux portions primaires avaient des couches périphériques denses (fig. 33 *h*, 48) ; elles n'ont qu'une sphère centrale. Dans la matière d'individualisation, on voit des lignes brillantes, plus denses (fig. 38, 39), et formées par la condensation de la

matière gélatineuse d'individualisation ; un grossissement plus fort nous montre qu'elles sont toujours à deux contours. Ces lignes, ou, pour mieux dire, ces couches plus denses de la même substance ne s'étendent pas dans l'eau, tandis que la matière voisine peut s'étendre considérablement.

Là où la division s'effectue à deux reprises, ces lignes se forment aussi de la même manière : après la première (fig. 35, 36), et après la seconde division ; c'est par cette raison qu'à cette époque on peut opérer la réunion des portions secondaires, tandis que les portions primaires restent toujours séparées par cette couche.

Explication. — Donc, pendant la sécrétion de la substance d'individualisation, on voit de nouveau, dans le *nucleus* auct., le *nucleolus* auct. (comp. les fig. 27, 33, 34, 35) ; celui-ci, on le dirait, croît et remplace le nucléus (fig. 36, 38), qui touche les limites du plasma où il rencontre la couche périphérique et se confond avec elle ; ni l'un ni l'autre ne s'aperçoivent plus.

En suivant les phases après la phase IX, où la matière d'individualisation, étant jeune, pouvait se dissoudre dans l'eau et s'absorber, nous voyons sa condensation de plus en plus considérable jusqu'à la différenciation secondaire sous forme de lames plus denses. Ces lignes sont précisément celles qui sont représentées par MM. Unger (1), Nägeli (2) et Wimmel (3) dans des cellules mères du pollen. Les auteurs ont cru voir ici les parois primaires des cellules spéciales qui se touchent, ou des cloisons primaires communes qui sont épaissies par la matière gélatineuse dégagée des cellules voisines, ou enfin les plus vieilles couches de la matière sécrétée par les cellules. Il n'y a pas lieu de discuter ici ces opinions, car chacun des auteurs a des raisons en faveur de sa manière de voir : une seule circonstance m'empêche de me servir du terme admis, de *cloison primaire*, c'est que cette cloison n'est point primaire, mais

(1) *Ueber die merismat. Zellenbildung*, pl. 1, fig. 33

(2) *Zur Entwicks.-gesch. des Pollens*, pl. 3, fig. 45, *b*.

(3) *Bot. Zeitg*, 1850, fig. 108, 109.

qu'elle est secondaire, et j'aime mieux la nommer *ligne* ou *lame secondaire.*

Dès le début, ces lignes vont se perdre dans la substance gélatineuse ; leur première différenciation commence au centre de la cellule mère commune, là où commence la division.

PHASE XIII.

(Pl. 13, fig. 41-43.)

Bientôt ces lignes divergent comme si elles étaient dédoublées à leur extrémité et vont entourer chacune des portions plasmatiques.

A cette époque, nous voyons de nouveau la couche périphérique du plasma apparaître sous l'influence de l'eau (fig. 47, *e*).

Explication. — Sans doute il n'y a pas ici de dédoublement des *lames secondaires ;* c'est par différenciation secondaire qui s'opère autour des portions que ces lignes se prolongent dans cette direction après avoir commencé au centre où commencent, comme nous l'avons vu, tous les changements. Il semble que les portions plasmatiques aient dû épaissir ces cloisons par la sécrétion de la matière d'épaississement secondaire, mais c'est tout le contraire qui arrive.

Il faut observer que cette différenciation secondaire ne coïncide pas précisément avec les changements du plasma que j'ai décrits comme deux faits coïncidants : ces lignes commencent leur différenciation tantôt plus tôt, tantôt plus tard. En général, il est impossible de séparer exactement les diverses phases, et je ne l'ai fait que pour les mieux décrire.

PHASE XIV.

(Pl. 13, fig. 40, 44, 47.)

Nous observons ici la condensation tertiaire de la matière gélatineuse sécrétée dernièrement *autour* des portions plasmatiques qui se condense et se présente à nos yeux sous forme d'une couche intérieure d'épaississement (fig. 44, *d*, *e*) qui est adjacente au contenu (fig. 45, *f*).

A cette époque, on peut très-bien observer dans la paroi de la cellule mère la composition feuilletée, et la substance de toutes couches se colore en rose bleuâtre avec l'iodo-chlorure de zinc, réaction que je n'ai pas réussi à produire ni avant ni après cette phase, où la substance reste incolore ; elle se distend même par une petite addition d'acides, d'alcalis ou de chloruro-iodure de zinc. Quoi qu'il en soit, les cellules spéciales sont formées complétement.

L'eau nous montre que les parties périphériques du plasma restent plus denses ; le plasma, en prenant de l'eau, forme des vacuoles (fig. 44, 46, 47), ce qui n'avait pas lieu dans les cas où nous n'avons pas observé de couches périphériques.

Explication. — C'est peut-être d'après ces phénomènes que M. Nægeli a admis l'existence de *cellules spéciales*, car ces lignes sont en effet toujours à double contour (fig. 45) et peuvent faire croire à des cellules *renfermées* dans une cellule mère commune (fig. 41, 45) ; c'est là la cause pour laquelle M. Nægeli les a considérées comme des *cellules spéciales* dans un sens tout différent de celui que nous pourrions lui attribuer d'après nos considérations actuelles sur le tissu végétal. Si nous admettions la définition des cellules spéciales telles que M. Nægeli l'a comprise, nous ne les retrouverions que dans quelques cas spéciaux et mal définis, par exemple chez le *Cucurbita Pepo*, l'*Angiopteris longifolia*, l'*Althæa* et d'autres cas ; chez les Polypodiacées, les Équisétacées et plusieurs autres, ces cellules spéciales ne se forment pas. Mais en admettant que ces cellules soient les mêmes que dans tous les tissus végétaux, que de plus dans les cellules mères des *Cucurbita* de l'*Aspidium* (1), la division se fasse par le procédé ordinaire, ce que j'ai démontré pour l'*Aspidium* et l'*Angiopteris*, nous devons admettre aussi que ces cellules représentent la nouvelle génération de cellules qui sont, pour ainsi dire, spécialement destinées à former les spores ou le pollen, comme les cellules du tissu ordinaire. Nous

(1) Voyez mon premier mémoire qui porte sur le développement des spores chez les Polypodiacées (*Giorn. nuovo Bot.*, vol. VI, n° 1).

devons ainsi, dans tous les cas, accepter l'existence des *cellules spéciales*, et j'adopterai pour la suite ce terme dans le même sens, c'est-à-dire comme éléments d'un tissu ordinaire qui provient de chaque cellule mère. Nous verrons plus tard que ma manière de voir sur ce sujet n'est point en contradiction avec les idées actuelles sur le procédé de division des cellules dans les tissus végétaux. Quant à la réaction de cellulose dans l'une des phases, il faut observer que cette substance s'endurcit de plus en plus dès le début de la sécrétion, lorsqu'elle peut encore se dissoudre dans l'eau. J'ai suivi cette condensation pendant toutes les phases jusqu'à l'époque des différenciations des *lames secondaires;* nous voyons apparaître la réaction de la cellule au moment où les différenciations atteignent le plus haut degré; par conséquent, cette substance gélatineuse n'était autre chose que la cellulose elle-même sécrétée ici à l'état liquide. Cette substance acquiert avec le temps une consistance plus grande, ou bien elle peut se transformer en même temps chimiquement pour devenir cellulose, ce qui confirme les idées actuelles sur la formation des cloisons ordinaires.

Pendant cette phase, la couche périphérique du plasma apparaît par l'action de l'eau comme une couche plasmatique à densité considérable; elle empêche maintenant le plasma de s'étendre librement dans toutes les directions; c'est pourquoi l'eau s'accumule au dedans du plasma en formant des vacuoles, ce que j'ai observé également dans quelques autres circonstances (p. ex. fig. 33).

On peut remarquer ici un phénomène qui nous explique l'origine de l'opinion de M. Spach, à savoir que la division peut s'effectuer tantôt sans contraction du contenu et abandon de l'eau, tantôt avec (1).

En mourant et en se contractant, les portions plasmatiques dégagent l'eau qui est immédiatement absorbée par la matière gélatineuse adjacente ; ou bien, à l'époque où la couche adjacente au contenu est déjà condensée, le liquide dégagé au de-

(1) *Lehrbuch*, 1873, p. 15, fig. 11.

hors occupe l'espace entre le plasma contracté et la matière qui est déjà condensée. Cependant dans les mêmes cellules, les portions vivantes ne représentent point ce phénomène ; elles absorbent elles-mêmes l'eau (ou peut-être la solution de la matière environnante, si elle ne s'est pas encore condensée) et augmentent considérablement de volume.

Rappelons donc les phénomènes observés, et peut-être réussirons-nous à nous faire une idée sur ce qui se passe au sein du plasma avant sa division. J'ai déjà montré que les considérations théoriques actuellement admises ne nous expliquent pas exactement l'histoire de la division du plasma, car ces considérations sont fondées sur des recherches pleines de lacunes, quoique les aits isolés y soient justes, comme je l'ai fait observer.

Nous avons vu que c'est l'eau qui rend visibles toutes les parties du plasma ; j'ai démontré aussi que ces parties étaient plus denses *au moment de leur apparition*. Elles apparaissent à cause de leurs pouvoirs différents d'imbibition ; la partie périphérique du plasma prend l'eau d'abord ; le centre, qui n'en a pas encore pris, a un autre indice ; mais avec le temps il s'imbibe à son tour, augmente de volume, et son indice de réfraction devient le même que celui du reste du plasma. Comme après la contraction, le centre est toujours plus compacte et granulé, nous avons dû admettre qu'il avait été primitivement formé de matière qui contient plus de molécules capables de se contracter que le plasma environnant. Ainsi donc, ces diverses parties ont des propriétés différentes. Quel est le caractère de ces phénomènes ? sont-ils physiques ou chimiques ?

Jusqu'à présent on a considéré l'imbibition du plasma par l'eau comme un phénomène plutôt physique que chimique, ou, pour mieux dire, les botanistes n'ont pas songé à la question ; ils se sont bornés à essayer l'action de la solution du sucre, de l'alcool et de tous les agents énergiques, qui ne produisent qu'un seul effet : la destruction rapide et complète du plasma. Je ne puis pas entrer ici dans les détails sur les données que

l'on rencontre actuellement dans la physiologie végétale, relativement à la réaction dont il s'agit, car cela me conduirait trop loin.

Les substances organiques telles que le plasma, ont la propriété de se métamorphoser sous les influences les plus délicates; d'un autre côté, ces substances sont susceptibles de donner un grand nombre de formes isomériques. On sait aussi que plus une substance est complexe, plus cette faculté est grande, plus l'équilibre de ses forces chimiques est instable. Un autre fait a ici une grande importance. C'est précisément l'eau qui joue le rôle principal dans la formation de ces formes isomériques ; pour ces substances, dont le plasma est le représentant le plus complexe, le plus variable et le plus sensible, l'eau est un agent qui suffit à produire une quantité de formes isomériques ne différant point par leur constitution élémentaire. Mais la formation des formes isomériques est un fait chimique, et si le plasma devient plus dense ou moins dense, il ne faut pas le comparer à une éponge sèche ou mouillée dont le pouvoir d'imbibition ne dépend que de la grandeur et du nombre des cavités.

Par conséquent, l'action de l'eau sur le plasma dans notre cas est une *action chimique*, *et c'est par la destruction chimique* des quelques parties du plasma (périphérie, phase I) que les autres parties qui ne sont pas encore attaquées par l'eau (le centre, phase I) vont apparaître d'abord ; ces dernières sont attaquées à leur tour, mais j'ai montré qu'elles prenaient une quantité d'eau plus considérable, parce que, je le répète, après la contraction, elles diminuent davantage de volume. Leur réaction avec l'eau est plus énergique, et elles ont absorbé plus d'eau parce qu'elles sont plus denses, c'est-à-dire *chimiquement différentes*.

Ainsi, nous sommes forcés d'admettre que les changements de densité du plasma le conduisent à la division ; donc, *ici le phénomène chimique est en même temps le phénomène physiologique*, et je crois bien que cela a lieu partout dans tous les organismes.

En effet, dans le cas présent, où les idées actuellement admises ne sont point applicables, comme je l'a constaté pour chacune des phases, les considérations exposées aussi briève-

ment que possible ci-dessus donnent une explication complète pour tous les détails.

En considérant tous les phénomènes décrits, nous pouvons les diviser en deux grands groupes.

I. *Phénomènes généraux.* — C'est-à-dire ceux qui ont lieu dans chaque phase de développement, et sont soumis à des lois communes chimiques et physiques, car ils sont le résultat de propriétés générales intimes du plasma, dont le mode d'activité est le même durant toute la période décrite.

II. *Phénomènes spéciaux.* — C'est-à-dire ceux qui n'ont lieu que dans telle ou telle phase de développement et sont soumis à des lois secondaires. En analysant chacune des phases à part, j'aurais pu tenter d'expliquer ces phénomènes, mais cette solution n'est possible qu'après avoir expliqué les phénomènes généraux.

Explication des phénomènes généraux. — Le fait que, jusqu'au moment de l'action de l'eau, nous n'avons pu voir de limites entre les parties du plasma, démontre parfaitement qu'il ne s'agit réellement que de *différenciations chimiques* ou *physiologiques* de cette substance ; c'est à raison de cette métamorphose chimique qui commence dans la substance du plasma, que ses différentes parties prennent des quantités d'eau variables, ce qui change leurs rapports optiques pendant l'observation.

Certainement il est impossible de songer à voir les limites de la métamorphose chimique ; c'est un phénomène qui se propage d'une molécule à l'autre dans toutes les directions ; la région de son action s'élargit plus ou moins rapidement ; sur la périphérie de cette région la force chimique doit exercer son activité sur un nombre de plus en plus grand de molécules, ce qui doit affaiblir son énergie. La métamorphose chimique, pour s'accomplir, demande quelque temps, surtout dans un corps organisé comme le plasma : ici elle doit prendre le dessus sur la force d'organisation et non-seulement transformer chimiquement les molécules, mais encore créer une organisation nouvelle, c'est-à-dire élever le corps au degré suivant d'organisation.

Cela nous explique exactement pourquoi, dans toutes les phases décrites, nous ne voyons aucune sphère, aucune autre

partie, quoique la métamorphose chimique du plasma s'effectue incessamment, de telle sorte qu'on ne peut pas songer à voir *toutes les phases*.

La métamorphose chimique d'une substance semi-liquide ne peut se propager que sous la forme d'une sphère ; mais le point de départ des changements peut ne pas coïncider avec le centre géométrique de la matière, quelle qu'elle soit. C'est pourquoi nous voyons que le centre des sphères qui apparaissent ne correspond pas précisément avec le centre géométrique de la cellule. Il est évident que le centre physiologique du plasma n'est point le même qu'un centre géométrique. D'après les observations décrites, nous devons admettre non pas une seule sphère chimiquement modifiée, mais plusieurs sphères.

En effet, c'est la métamorphose chimique du plasma qui conduit celui-ci à la division ; elle doit être progressive, et nous devons distinguer deux sortes de progrès :

1. Progrès relativement au *degré* de la métamorphose : chacune des molécules du plasma éprouve à plusieurs degrés ce qui conduit à la division du contenu.

2. Progrès relativement à l'espace, — la *marche* de chaque degré de la métamorphose au sein du plasma, c'est-à-dire à la *propagation d'un certain degré* de métamorphose d'une molécule à l'autre. Si nous n'approuvons pas ces assertions, il est impossible de comprendre comment le plasma ne se divise qu'après avoir passé par certaines phases de développement. Nous sommes ainsi forcés d'admettre plusieurs degrés de métamorphose du plasma qui se suivent l'un après l'autre dans son sein, chaque degré se transformant d'une molécule du plasma à l'autre.

Entre les divers degrés de métamorphose il y a des intervalles, pendant lesquels un degré commencé va se prolonger jusqu'aux points les plus éloignés du plasma ; mais ces intervalles ne sont point assez longs pour que le nouveau degré de métamorphose attende la fin de la propagation du premier jusqu'à la périphérie du contenu : il commence avant que le premier degré atteigne les limites du plasma. Cela nous explique suffi-

samment pourquoi nous observons tantôt une sphère (*nucleus* auct.), tantôt deux sphères concentriques (*nucleus* et *nucleolus* auct.).

S'il en est ainsi, il est bien facile de comprendre que les divers degrés de métamorphose doivent quelquefois se trouver en même temps dans une même cellule, car autrement la métamorphose ne serait pas progressive ; plus loin, il se peut aussi que ces divers degrés soient concentriques, car il est évident qu'il y a dans le plasma un centre d'activité physiologique, d'où se propagent tous les changements physiologiques ou chimiques. Il n'est pas étonnant que sous l'influence de l'eau, nous voyions dans quelques phases deux sphères concentriques ; elles doivent être considérées comme la manifestation des divers degrés progressifs de métamorphose, commencés au centre physiologique du plasma.

Les sphères concentriques ne peuvent avoir des limites fixes, car elles ne sont que des régions du plasma métamorphosées chimiquement ; ces régions, en absorbant de l'eau, contractent leurs extrémités en retirant leurs molécules au centre de l'affinité chimique, c'est-à-dire que les molécules qui sont déjà changées au même degré vont s'implanter dans les groupes des molécules les plus semblables par leurs degrés de métamorphose. Ainsi s'effectue une espèce de sélection, de translation des molécules semblables au sein du plasma et sous l'influence de l'eau , car les molécules les plus proches par leur caractère chimique ne peuvent prendre de l'eau qu'en quantités approximativement égales : les limites indéterminées de ces régions deviennent ainsi bien définies et présentent des contours ; en un mot, les sphères apparaissent sous la forme de *nucleus* et de *nucleolus* des auteurs.

L'eau nous sert ici comme dans le cas où nous déterminons par les réactifs à quel degré est parvenu le phénomène de la dissolution de la granulose des grains d'amidon, ou la formation des couches cuticulaires, etc.

Le centre physiologique du plasma, étant le foyer de l'activité chimique, doit représenter la partie du contenu la plus sensible

aux agents extérieurs, ce que nous trouvons précisément dans la succession des apparitions des sphères et des altérations ultérieures du plasma sous l'influence de l'eau.

Les sphères apparaissent suivant le passage de l'eau, c'est-à-dire que le liquide s'empare d'abord des parties les plus extérieures du plasma, qui ne sont pas encore changées relativement aux parties centrales du contenu, à l'époque où la métamorphose du centre n'est pas encore arrivée jusqu'aux limites du plasma. Il semble ainsi que c'est la partie centrale qui apparaît et s'altère d'abord ; mais en réalité nous voyons que la sphère correspondante au nucléus des auteurs apparaît plus tard que celle qui est l'équivalent de leur nucléole ; en disant que les parties apparaissent du centre à la périphérie, ce n'est que pour simplifier les choses au point de vue de l'impression subjective, d'autant plus que le procédé est le même : les deux parties contractent leurs molécules en se limitant.

La seconde sphère (*nucleolus* auct.), qui représente un degré de métamorphose chimique plus élevé, commencé au centre physiologique, est parfaitement semblable à la première, et par son caractère, et par la succession d'apparition et d'altération ultérieure ; elle est envahie d'abord par la granulation, parce que c'est le commencement d'un nouveau degré de métamorphose, où les forces chimiques sont encore plus actives et leur équilibre est encore plus instable que dans la grande sphère ; par cette raison, la sphère dont il s'agit est plus sensible que la sphère extérieure. C'est pourquoi la granulation des sphères commence d'abord dans la sphère intérieure.

Mais si ce mode d'apparition des parties du plasma par des réactions différentes avec l'eau ne peut s'effectuer qu'au moyen de la translation des molécules sur les limites des régions différenciées chimiquement, on comprend pourquoi ces limites sont attaquées par la granulation (c'est-à-dire altération) avant les parties plus intérieures.

Explication des phénomènes spéciaux. — Il n'est pas difficile maintenant de traduire toutes les phases décrites en langage théorique. La phase I (fig. 15) n'a qu'une seule sphère centrale

et la couche périphérique, parce que c'est seulement *un* premier degré de métamorphose chimique qui commence au sein du plasma après la séparation des cellules mères. Nous voyons que la couche périphérique n'apparaît que dans l'état *c* de l'action de l'eau, et dans l'état *d* elle disparaît de nouveau. Cela veut dire que l'énergie de la métamorphose est plus faible sur la périphérie du plasma, car cette couche n'apparaît qu'après que la sphère centrale est déjà considérablement altérée par l'eau. Cette phase correspond à la *phase à nucléus primaire* des auteurs.

Dans la phase II (fig. 17), nous voyons deux sphères centrales ; la couche périphérique n'apparaît pas La sphère extérieure est relativement plus grande que dans la phase précédente. Cela veut dire qu'au sein du plasma, après un certain intervalle, le second degré de métamorphose chimique et progressive a commencé au centre physiologique (*nucléole primaire* auct.).

L'action du premier degré se propage à la périphérie du contenu, à l'accroissement du nucléus, suivant Mohl); le second degré le suit. La couche périphérique n'apparaît pas parce que le degré de métamorphose dont elle a été la manifestation à l'époque *antérieure à la séparation* des cellules mères a atteint les limites extrêmes du contenu. Cette phase correspond à la phase à *nucléus primaire* avec *nucléole primaire* des auteurs et à la dissolution du sac primordial (Unger, *loc. cit.*).

Ainsi, nous avons ici trois degrés de métamorphose dont les deux plus élevés, par rapport au développement, occupent le centre physiologique ; le troisième degré et le plus profond est moins actif ; il se localise à la périphérie, de sorte que l'énergie chimique et la sensibilité aux agents extérieurs diminuent du centre à la périphérie. Les résultats de ces métamorphoses sont : indifférence aux agents extérieurs, équilibre plus stable des forces chimiques et transformation plus profonde dans le sens contraire. En d'autres termes, les premiers et les derniers sont en relation inverse.

Dans les phases III et IV (fig. 18, 23), le premier degré (*nucleus* auct.) de métamorphose a atteint les limites du plasma où l'on ne voit aucune couche périphérique ; le second degré (*nucleolus*

auct.) occupe maintenant la position du premier degré; à cette époque, le plasma commence à se diviser au centre (fig. 23, t. II). Ces phases correspondent à la phase à division du *nucléole secondaire* des auteurs.

D'autres botanistes pensent que le *nucléus primaire* se dissout et que deux *nucléus secondaires* vont se former dans les cas analogues.

J'ai observé quelquefois les cellules qui, pendant tous les états de leur altération par l'eau, ne présentaient aucune sphère; mais il est facile d'expliquer ce phénomène en admettant que l'intervalle entre le premier degré de métamorphose et le second est plus long qu'à l'ordinaire. Le premier degré atteindra alors les limites du plasma avant que le second commence au centre; il en résulte qu'à cette époque les cellules n'auront pas de sphères. Mais en supposant même qu'il existe ici une dépense inutile de forces physiologiques, nous voyons que ce ne sont point deux *nucléus secondaires* qui se forment, mais seulement un seul *nucléus secondaire* qui se divise en deux.

Dans les phases V et VI (fig. 22, 25), le second degré de métamorphose se propage plus loin; mais maintenant il y a déjà deux (ou quatre) foyers de métamorphose du troisième degré qui va remplacer le degré précédent. Si les régions du degré précédent se rencontrent, il se passe en cet endroit la même chose que sur la périphérie du plasma, c'est-à-dire une lamelle plasmatique garde le degré précédent de métamorphose, plus âgé; la dernière dans la phase VI (fig. 25) accroît jusqu'à la périphérie, avec la propagation du second degré qui laisse sur la périphérie une *couche périphérique* d'une consistance comme la région entre les régions de troisième degré.

Ces phases (IV, V, VI) correspondent aux phases à division par étranglement du *nucléus secondaire* des auteurs ou à formation de lamelle plasmatique granulée entre les *nucléus secondaires* d'autres observateurs.

Dans la phase VII (fig. 26, pl. 12), le plasma se divise par des fentes; le troisième degré de métamorphose occupe la position

du second, qui s'est approché de la surface en laissant encore la *couche périphérique*, qui va disparaître bientôt aussi.

Nous voyons donc que l'apparition de la couche périphérique est toujours en retard sur les sphères centrales, et d'un autre côté, pendant que le centre passe par les *trois* degrés de métamorphose, la périphérie n'a passé que par *deux* degrés.

Dans la phase VIII (fig. 27), le quatrième degré de métamorphose commence dès le début de l'individualisation des portions plasmatiques; il se manifeste par l'apparition d'une nouvelle petite sphère centrale au milieu de la sphère du troisième degré; la *couche périphérique* n'existe plus, car le second degré de métamorphose auquel appartenait cette couche a atteint la périphérie.

Dans la phase IX (fig. 28), nous voyons que le troisième degré de métamorphose est déjà près des bords de la surface, où il laisse voir la couche périphérique, tandis que le quatrième degré s'est propagé jusqu'à occuper la position abandonnée par le troisième : nous ne voyons de nouveau que le nucléus des auteurs.

Dans les phases qui suivent, le troisième degré de métamorphose a enfin atteint la périphérie du contenu, qui est ainsi modifié dans toutes ses parties; la couche périphérique n'existe plus. Jusqu'à la phase XIV, nous ne voyons que le quatrième degré, qui se propage jusqu'à la surface où l'on voit de nouveau la couche périphérique (fig. 40, 47); ce qui veut dire que le quatrième degré est tout près des limites du contenu, dont le centre est occupé par le cinquième degré sous la forme de nucléus.

Ainsi, durant cette période, le plasma passe par cinq degrés de métamorphose centrale, dont les trois premiers ont atteint complétement la périphérie, le quatrième se trouve tout près des limites du contenu, et le cinquième est au centre, où il a à peine commencé. Cela nous démontre parfaitement que les nucléus, les nucléoles et le *sac primordial* des auteurs ne sont dans ce cas, que des résultats des degrés de métamorphose chimique du plasma décelés par l'action de l'eau.

DEUXIÈME PÉRIODE.

PHASE XV.

(Pl. 13, fig. 49.)

Nous avons laissé les cellules spéciales à l'époque où le cinquième degré de métamorphose chimique a commencé au centre, tandis que le quatrième, n'ayant pas atteint la périphérie, laisse intacte la couche superficielle (fig. 40, 47).

Cet état du centre physiologique persiste pendant presque toute cette période. Il n'en est pas de même de la périphérie. Tous les degrés précédents ont amené cette couche à un commencement de solidification, mais cette solidification ne se fait pas simultanément sur la surface des portions plasmatiques, ce que l'action de l'eau nous démontre très-clairement (fig. 49). Nous voyons que seules les parties tournées vers l'ancien centre physiologique divisé de la cellule mère commune, ou, ce que j'ai appelé les surfaces abdominales, se sont solidifiées et possèdent un double contour ; tandis que sur les surfaces dorsales, cette couche passe directement au plasma et acquiert sous l'influence de l'eau une granulation identique.

PHASE XVI.

(Pl. 13, fig. 50; pl. 14, fig. 51, 52.)

Pendant cette phase, a solidification, et par conséquent les contours, continuent à se montrer dans la même direction. Ils s'emparent de toute la surface des portions plasmatiques. Les réactions chimiques de la couche sont fort semblables aux réactions de la substance cuticulaire : le chloroiodure de zinc, l'iode et l'acide sulfurique la teignent en jaune, les acides ne la dissolvent pas, les alcalis ne font que la ramollir très-peu. Toutes ces réactions, quoique à un moindre degré, existent également dans la phase XV ; il y a maintenant, de plus, une irisation (bleue à

l'extérieur, rouge à l'intérieur) et une coloration jaune d'or, par l'action de la potasse. Ces réactions ne sont pas possibles dans une membrane jeune de cellulose; d'un autre côté, il est impossible d'admettre que cette membrane ait eu le temps de se transformer en cuticule; les observations directes nous montrent en effet qu'elle n'est qu'une couche plasmatique modifiée.

Les propriétés qui viennent d'être indiquées appartiennent à la membrane à laquelle j'ai donné le nom d'*exosporium;* et en effet cette membrane conserve ses propriétés primitives pendant tout le temps du développement, de façon qu'au moyen de l'irisation et de la réaction de la potasse, on peut toujours la distinguer des membranes formées par d'autres voies (fig. 59, 42, 67, 68, 71).

Plusieurs faits démontrent que c'est bien là la couche plasmatique que nous avons vue au moment où sa solidification commençait : quatre jeunes spores, renfermées dans une cellule mère commune, forment, en absorbant de l'eau, des vésicules rien que sur la partie dorsale (fig. 51, 52, pl. 14); ces vésicules sont formées par l'enveloppe propre de la spore distendue au point qu'on n'aperçoit plus son double contour. Plus les spores sont âgées, plus la formation des vésicules est difficile; sur la figure 51 l'enveloppe des vésicules est la continuation immédiate de l'enveloppe de la spore, tandis que sur la figure 52, pl. 14, la vésicule de l'une des spores constitue encore le prolongement de l'enveloppe à double contour, la vésicule d'une autre sort par les déchirures de l'enveloppe.

Explication. — Ces phénomènes ne peuvent se produire qu'à la condition que les enveloppes des spores ne soient pas de même âge dans toutes leurs parties. Les vésicules se forment, en effet, justement sur les faces dorsales où l'enveloppe n'a pas encore perdu son extensibilité, et où, même après la perte de cette extensibilité, elle est moins résistante, parce que c'est ici que se font les plis par la contraction, ou des déchirures qui donnent passage à la vésicule formée, cette fois, par le plasma intérieur.

En outre, si l'on se rappelle que dans une même cellule mère une spore forme la vésicule par rupture et l'autre par extension

de son enveloppe, ce qui, comme nous l'avons vu, dépend de l'âge, nous devons admettre que les spores d'une même tétrade ne sont pas également développées, l'enveloppe de l'une se formant plus tôt et plus vite que l'enveloppe de l'autre. Ceci correspond parfaitement à ce que j'ai indiqué plus haut; après la division primaire, l'une des portions plasmatiques, au point de vue des changements ultérieurs, prime toutes les autres. Si l'activité chimico-physiologique de la cellule mère commune se condense dans le centre physiologique, d'où commence, comme nous l'avons vu, la division du plasma, on comprend facilement pourquoi l'enveloppe se forme d'abord dans les endroits immédiatement en contact avec ce centre. Nous allons voir, en effet, que tout le travail chimique se fait justement en cet endroit.

PHASE XVII.

(Pl. 14, fig. 53-55.)

La solidification de l'*exosporium* continue. Il se déchire, et le plasma donne une vésicule qui s'échappe par l'ouverture, qui s'agrandit par suite de l'extensibilité non encore complétement détruite des parties (fig. 53); mais un peu plus tard cette propriété même disparaît; l'enveloppe se déchire sans que l'ouverture s'agrandisse, la vésicule est étranglée, et les granulations du plasma, décomposées par l'eau, y pénètrent (fig. 54). En même temps s'accomplit la désorganisation de la substance gélatineuse de la paroi de la cellule mère commune, qui perd la réaction de la cellulose déjà pendant la phase XV, et qui, maintenant, se transforme en une substance gélatineuse qu'on distingue difficilement au milieu des autres liquides. Malgré cela, les spores sont retenues longtemps encore dans leur état primitif, comme par une force invincible (fig. 55), et donnent toujours, sous l'influence de l'eau, à leurs faces dorsales, des fentes dans leurs enveloppes. On remarque, en outre, que le plasma, en arrivant d'un côté en dehors, se détache de l'*exosporium* sur les faces abdominales de la spore, où il se forme des intervalles entre le contenu et l'enveloppe.

Explication. — Jusqu'à présent le plasma était si intimement lié à l'*exosporium* (ce que la formation de ce dernier explique suffisamment), qu'il était impossible de séparer l'enveloppe du contenu ; nous voyons au contraire, ici, que l'enveloppe se différencie à un tel point du contenu, que leur séparation s'effectue par la simple action de l'eau. Et ce phénomène commence encore aux endroits qui formaient l'ancien centre physiologique. Quant aux déchirures des parties dorsales des spores, elles montrent que l'enveloppe continue à y être plus jeune et moins résistante que partout ailleurs.

PHASE XVIII.

(Pl. 14, fig. 56-59.)

Les spores sont libres. Leur *exosporium* est fortement irisé ; la spore ne forme pas de vésicules ; on remarque à sa surface trois lamelles qui se réunissent en un seul point. Sans l'influence de l'eau, on ne voit dans le contenu, ni le *nucleus*, ni le *nucleolus* des auteurs. L'eau ne fait apparaître qu'une grande sphère qui passe par les états de granulation que nous avons déjà vus. Les fig. 58, 59 montrent les spores dans les états qui correspondent à *c*, *d* et *e*. Quoique la contraction du contenu se détache de l'enveloppe, ses contours ne sont pas nets, ils paraissent dentelés et granulés. On trouve des spores dans lesquelles la sphère atteint presque l'enveloppe, mais on en trouve aussi où l'eau ne produit aucune sphère.

Explication. — Le contenu n'est pas encore complétement différencié de l'enveloppe, car la contraction produite par la déshydratation ne l'en sépare pas du tout ou ne l'en sépare qu'incomplétement, et il reste adhérent à l'enveloppe dans plusieurs endroits (fig. 59). Il est évident que le dernier (le cinquième) degré de métamorphose chimique, après s'être arrêté pendant toute la période de formation de l'*exosporium*, commence de nouveau à marcher vers la périphérie ; la dimension de la sphère et son absence dans certaines spores nous le démontrent suffi-

samment (1). C'est ainsi que s'accomplit la cinquième métamorphose; mais le plus souvent elle suit une autre marche.

PHASE XIX.

(Pl. 14, fig. 60-62.)

L'enveloppe présente une forte réaction de cuticule; elle se gonfle à peine par l'ébullition dans une solution concentrée de potasse en présentant de légères rides à sa face dorsale (fig. 62); les lamelles ont des raies larges et saillantes. Le contenu ne prend pas d'eau du dehors; il semble lui-même si riche en matières aqueuses, qu'il les élimine pour former la vacuole qui se forme en même temps dans l'intérieur du plasma. Cette vacuole, en se formant, refoule la plus grande partie du contenu vers un seul côté et ne laisse dans les autres endroits, près des parois, qu'une mince couche. Le plasma est parfaitement transparent et n'est nullement granulé. En employant les plus faibles moyens de déshydratation, la vacuole abandonne l'eau et le plasma se retire des parois: il a des contours tout à fait nets. Plus la vacuole abandonne d'eau, plus le plasma se contracte, tout en restant transparent et non granulé. Il n'y a point de couche périphérique.

Mais le fait le plus remarquable, c'est qu'on voit maintenant au milieu du contenu, même sans l'action de l'eau, une sphère de substance plasmatique de même caractère, aussi transparente et homogène, mais plus dense. Après la formation de la vacuole elle reste même comme dénudée; pourtant un examen plus attentif nous montre qu'elle est couverte aussi d'une mince couche du plasma de ce côté. C'est un véritable *nucleus*, un nucléus différencié morphologiquement, et qu'on peut considérer comme un organe. Il n'a pas encore de *nucleolus* (pl. 14, fig. 60, 63).

Explication. — D'où vient ce nucléus? La formation de la

(1) Il est impossible de déterminer l'âge des spores lorsqu'elles se sont séparées; j'ai donc cru inutile d'essayer cette détermination, et je me suis contenté, dans mes conclusions, de noter la succession des phénomènes.

vacuole se fait très-rapidement, et l'on ne remarque pas une augmentation subite du volume de la spore; en revanche, la quantité de substance plasmatique diminue considérablement. Les solutions aqueuses qui se trouvaient jusqu'à présent au sein du plasma par suite de leur affinité pour lui, sont éliminées et forment une vacuole; la masse de plasma, diminuée d'autant, se retire vers les parois. Ce phénomène doit évidemment être rapide comme tout phénomène chimique. Mais la différence morphologique ne peut se faire aussi vite, car il y a ici, outre la réaction chimique, un changement d'organisation. En effet, la différenciation morphologique du nucléus s'est produite déjà un peu avant la formation de la vacuole, alors qu'on remarque, même sans eau, au sein du contenu, une sphère qui, comme le contenu, peut rester assez longtemps au contact de l'eau distillée sans éprouver de modifications.

PHASE XX.

(Pl. 14, fig. 63.)

Contenu comme dans la phase précédente. L'enveloppe dans une coupe optique présente deux couches, l'une interne, c'est l'*exosporium*, l'autre externe, transparente, incolore, vitreuse; cette dernière se détache facilement de la première. C'est ce que j'ai appelé le *perisporium*. Il se forme de la substance des parois des cellules spéciales, dont la couche la plus interne se solidifie déjà, comme nous l'avons vu dans la phase XIV. Il adhère fortement à la surface externe de l'*exosporium* et ne se détruit pas comme le reste de la substance de la cellule mère; pendant toutes les phases précédentes, il apparaît sous forme d'une zone étroite; avec le temps, il durcit davantage lorsque les dentelures de la spore l'ombrent plus fort.

C'est pendant cette même phase qu'apparaît dans le contenu une troisième enveloppe sous forme de membrane incolore; c'est le véritable *endosporium* de cellulose qui se forme comme toute membrane de ce genre, par la sécrétion de la cellulose liquide du sein du contenu. La figure 69 nous montre la

flexibilité relative des trois enveloppes par l'action de la glycérine sur la spore. La couleur de l'irisation de chacune d'elles est différente, ce qui dépend probablement de la différence des indices de réfraction.

Explication. — Les propriétés du *perisporium* sont tout à fait autres que les propriétés de l'*exosporium*, qui ressemblent à celles des membranes fortement cuticularisées. Le périspore est incolore, transparent, vitreux, cassant, insoluble à froid dans les acides et les alcalis ; il disparaît par l'ébullition avec les alcalis et paraît contenir de la silice. Déjà cette différence nous empêche de supposer que le périspore se forme par différenciation de l'exospore, car dans ce cas leurs propriétés eussent été les mêmes. Mais, en outre, l'étude de sa formation démontre qu'il a une origine tout autre que l'exospore et le *pseudo-exosporium* des Polypodiacées.

PHASE XXI.

(Pl. 14, fig. 64-70.)

L'exospore dentelé n'est formé que d'une couche qui se détache facilement du périspore (fig. 68, 70). Dans le contenu un nucléus morphologique, et dans son intérieur un nucléole également morphologiquement différencié (fig. 67). Autour du premier apparaissent des grains d'amidon qui se forment ensuite dans le reste du contenu (fig. 64-67). Ces grains se transforment plus tard, chacun séparément et à des époques différentes, en gouttes d'huile grasse, pendant que de nouveaux grains d'amidon continuent à se former. Il devient impossible de reconnaître ce que deviennent le nucléus et le nucléole (fig. 67).

Explication. — Les dentelures de l'endospore sont le résultat de la différenciation de sa substance en régions plus ou moins denses (fig. 69, 70). Il est clair que, pendant la durée de l'existence de la spore, son organisation s'achève par la solidification

(1) Excepté la solubilité dans la potasse.

de sa substance ; en même temps les régions moins denses sont susceptibles de donner plus d'eau et de diminuer davantage de volume que les régions plus denses renfermant moins d'eau de constitution. Il en résulte qu'après la déshydratation générale, les parties plus denses dépassent un peu la surface commune de l'enveloppe, sous forme de dentelures dans la coupe optique, et de proéminences lorsqu'on les regarde par en haut. On remarque la même structure dans les lamelles; chacune d'elles a deux bords qui se divisent par la pression (fig. 69) et forment une fente. Il est probable qu'une pareille séparation se produit aussi pendant la germination des spores. Quant à ce qui est du nucléole, il est probable que c'est là un nouveau genre de métamorphose qui a commencé, ou s'est arrêté, et, comme pour le nucléus, s'est transformé en différenciation morphologique.

La formation de l'amidon n'est pas en relation avec la position du nucléus (fig. 67) ; elle est plus active là où il y a plus de pla sma.

PHASE XXII.

(Pl. 12, fig. 12, 14.)

L'exospore est formé de deux couches dans lesquelles les régions de même densité se correspondent (fig. 14). Mais cette séparation en deux couches n'a pas pénétré jusqu'aux régions plus denses; c'est pourquoi les proéminences semblent être sorties de la couche interne de l'exospore et avoir traversé sa couche externe (fig. 14). Le périspore acquiert une teinte légèrement brunâtre.

Dans l'endospore des régions plus ou moins denses se différencient ; il est formé de cellulose pure.

Dans le contenu, un grand nombre de gouttelettes d'huile grasse et très-peu d'amidon. Toute la vacuole a presque disparu ; ce n'est qu'au milieu qu'on peut, au moyen d'agents déshydratants, reconnaître une petite quantité de liquide aqueux.

Explication. — Que les deux couches de l'exospore sont des produits d'une différenciation secondaire et non d'une sécré-

tion ou d'une intussusception, on le voit clairement par la correspondance entre les régions et par l'impossibilité d'admettre que les tubercules ont traversé la couche extérieure. Le développement ultérieur de la spore nous montre, en effet, que la production de la couche extérieure à travers l'exospore et la couche interne sous le périspore eût été un phénomène absolument inutile. La sécrétion secondaire de la couche interne est impossible par la même raison, et aussi parce que la croissance des tubercules à travers la couche externe eût détruit cette dernière en la soulevant, ce qui n'arrive jamais.

PHASE XXIII.

(Pl. 14, fig. 71, et pl. 2, fig. 13.)

Le périspore, fort peu solide, est détruit; ses débris restent quelquefois attachés à la spore (fig. 71). La destruction atteint aussi la couche externe, et notamment ses régions moins denses; les proéminences ne sont pas détruites ou ne le sont qu'en partie, de sorte qu'elles s'élèvent encore davantage sur le niveau général de l'exospore. La couche externe de celui-ci a des réactions cuticulaires plus manifestes que la couche interne: ainsi, par exemple, au contact de la potasse, sa couleur jaune arrive au brun (fig. 71). Plus tard, il se divise de nouveau en deux couches (fig. 13) dont l'externe peut de nouveau être détruite, mais le plus souvent cette structure persiste et l'exospore a trois couches, tandis qu'il n'existe pas du tout de périspore dans les spores tout à fait mûres.

Explication. — Selon toute apparence, la destruction des couches externes, et probablement leur différenciation, se produisent non sous l'influence d'une métamorphose intime du plasma, comme cela arrivait sous la première différenciation de la couche périphérique dans les phases XV et XVI, mais par des conditions purement extérieures qui commencent à agir après l'ouverture du sporange.

Je passe maintenant aux considérations générales sur les données fournies par la seconde période, et j'en détache les phases les plus remarquables.

A la fin de la première période, la substance de la cellule mère avait les caractères de la cellulose qu'elle perd au début de la seconde période ; à sa fin elle se désagrége complétement. La couche interne qui adhère aux spores formées ne subit pas ces modifications, peut-être parce qu'elle a eu le temps d'acquérir des molécules fortement résistantes à la destruction, peut-être parce qu'elle s'est incrustée de silice. Mais, en tout cas, ces molécules ne suffisent à garantir le périspore de la destruction que pendant le temps où la spore, après avoir perdu l'enveloppe mère commune, doit continuer ses transformations avec la protection du périspore seul. Ces molécules ne sont pas assez nombreuses pour que cet organe puisse se conserver jusqu'à la formation de l'huile qui marque l'époque de la pleine maturité de la spore.

Nous avons vu que la couche périphérique du plasma se transformait en membrane, non sous l'influence d'agents extérieurs, mais par suite de phénomènes chimico-physiologiques dans l'intérieur du plasma ; ce n'est que plus tard que les circonstances extérieures agissent en provoquant des différenciations secondaires.

Le centre physiologique du contenu semble arrêter son activité pour se changer plus tard en centre morphologique, quoique ce changement ne soit probablement pas définitif. Nous avons vu que dans les jeunes spores toutes les transformations ultérieures commençaient dans les endroits qui formaient primitivement les parties du centre physiologique de la cellule mère commune dont chaque portion a reçu une fraction de ce centre qui continue son rôle. Il est clair que, dans ces circonstances, l'activité qui tombe en partage aux centres physiologiques des portions n'est pas complète, et ils arrivent bientôt à un équilibre relativement plus stable. Cet équilibre se manifeste par ce fait que les sphères diffé-

renciées chimiquement seulement, se distinguent morphologiquement et deviennent de véritables nucléus.

On comprend facilement comment apparaissent ces nucléus. Le tour de se transformer en produits définitifs arrive au plasma du centre. La sphère plasmatique atteinte par le cinquième degré de métamorphose qui s'était arrêté dans sa marche vers la périphérie, se modifie pendant cette période au point de devenir optiquement différente, même sans l'action de l'eau sur le plasma environnant ; il suffit d'ailleurs pour cela de la plus légère augmentation de densité. Mais, quelle que soit cette modification, *elle est limitée à la sphère,* si même nous admettons que ce n'est là qu'un sixième degré de la même métamorphose arrêtée au degré précédent. Ceci suffirait pour rendre la sphère visible, car sa substance différerait du plasma environnant par deux degrés, c'est-à-dire que les rapports entre ces sphères seraient semblables aux rapports qui existaient au moment de l'action de l'eau dans les phases I, II, etc., et qui nous faisait distinguer la sphère centrale du milieu du contenu. Seulement alors le phénomène était artificiel, ici il est naturel. La métamorphose de la sphère centrale est arrivée naturellement au point que la différence avec le plasma environnant ne peut être graduelle ; les molécules semblables se réunissent en groupes en vertu de l'identité de leurs propriétés, et la sphère contracte pour ainsi dire ses limites sous l'influence d'une force naturelle, comme elle le faisait à l'époque de sa faible différenciation chimique sous l'influence d'un agent artificiellement dirigé du dehors.

C'est ainsi, et il semble qu'il ne puisse en être autrement, que s'accomplit le passage de la différenciation chimique au nucléus morphologique.

Le phénomène général consiste en ceci : que le moindre équilibre des forces chimiques se trouve au centre d'où partent toutes les réorganisations de la substance plasmatique qui doivent atteindre un équilibre relativement stable, c'est-à-dire la différenciation morphologique, comme résultat de la forme à laquelle conduisent ces forces. La *forme* apparaît en premier lieu à la

périphérie, ensuite au centre, ce qui est en corrélation avec la direction de son activité chimique. Mais les modifications ultérieures de la forme produite vont de la périphérie au centre sous l'influence des conditions extérieures. Nous devons donc distinguer l'origine de l'apparition de la forme et l'origine de ses transformations. Ici mes conclusions coïncident avec les conclusions de la biologie générale, qui nous apprend que la périphérie est toujours la région la plus modifiée.

Planche 14. — Formes irrégulières de développement.

Les formes irrégulières du développement des spores de l'*Angiopteris*, très-variées et très-nombreuses, confirment on ne peut mieux l'exactitude des phénomènes normaux et ne s'expliquent elles-mêmes que par les faits exposés ci-dessus.

1. La cellule mère peut, sans se diviser, transformer tout son contenu en spore en général quatre fois plus grande que la spore ordinaire (fig. 72).

Ici l'équilibre des forces chimiques du centre physiologique peut s'établir dès la phase II, dès le deuxième degré de métamorphose du plasma; la spore a alors le nucléus et le nucléole.

2. La cellule mère ne se divise qu'en deux, et chacune des moitiés se transforme en spore sans se diviser davantage. Ou bien l'une des moitiés se divise encore, tandis que l'autre se transforme en spore au commencement de la division. Ces spores ont ordinairement une échancrure d'un côté; on y remarque deux nucléus et au milieu d'eux les traces d'une lamelle plasmatique de division indiquant un commencement de division arrêtée (fig. 73). L'équilibre du centre s'établit ici pendant la phase X, par conséquent pendant le quatrième degré de métamorphose du plasma.

3. J'ai trouvé un grand nombre de vraies spores complexes (fig. 74) parfaitement semblables par leur structure aux spores complexes du *Sphærocarpus terrestris*. Quatre spores se réunissent de telle façon que les cloisons entre elles ne sont pas divisées

en deux feuillets, mais sont communes aux spores voisines et ont le caractère de l'exospore.

Ces formes irrégulières se produisent de la manière suivante :

A l'époque qui précède la division, la lamelle plasmatique ne se forme pas du tout par suite de l'arrêt de l'activité du centre physiologique ; ou bien cette lamelle se forme, mais ne se fend pas si l'activité du centre cesse un peu plus tard. Dans ces cas, la substance individualisante ne peut s'épancher que quelque part au dehors, ce qui arrive en effet (fig. 75). Nous voyons qu'à cet endroit il se forme déjà une lamelle solidifiée de substance gélatineuse, et ceci indique que la période de division s'est terminée avant l'apparition de la lamelle de division au sein du contenu. Il résultera de cet état de choses une spore sans traces de lamelle divisante dans son intérieur. Mais si l'activité du centre continue encore un peu, on obtient la spore de la fig. 73.

La sécrétion latérale de la substance individualisante peut se faire aussi au lieu de l'une des divisions secondaires (fig. 77) et en très-grande quantité, de façon que le plasma présente la forme de fer à cheval. La présence d'une lamelle solidifiée au sein de la substance individualisante montre, ici aussi, que l'époque où la division devait s'effectuer est déjà passée, et qu'il ne reste plus au contenu qu'à se transformer en spores par le procédé qui vient d'être décrit. C'est ce qui arrive ; car on rencontre un nombre considérable de spores en fer à cheval.

La figure 78 présente le moment de la formation d'une spore complexe. La lamelle plasmatique de division apparaît ici sous l'influence de l'eau ; par conséquent, cette phase correspond à notre phase IV. L'activité du centre cesse et la lamelle ne se fend pas, mais se transforme en membranes, comme la couche périphérique du plasma dans les cas normaux. C'est pourquoi les cloisons entre les spores sont semblables, par leurs caractères, à l'exospore, et l'on ne remarque dans le contenu des spores qu'un nucléus sans nucléole.

C'est probablement ainsi que se forment également les spores du *Sphærocarpus terrestris*.

L'origine de ces formes irrégulières est absolument inexpli-

cable dans la théorie du « *sac primordial* », bien que quelques-unes d'entre elles rappellent beaucoup la division des cellules dans les Algues. Dans ma note citée (1), j'ai déjà indiqué cette analogie entre la division normale des cellules mères des spores et la division des cellules des Algues : elle consiste en ce que dans les deux cas la substance gélatineuse est sécrétée tout d'abord, avec cette différence pourtant, que dans les Algues elle est sécrétée de la périphérie au centre du plasma, comme dans les cas anormaux de l'*Angiopteris*.

D'autres formes irrégulières, et notamment les formes dissymétriques de division des cellules mères, constituent des difficultés plus grandes encore pour la théorie du « *sac primordial* » et confirment encore mieux ma manière de voir. On trouve des spores quatre fois plus grandes et dix fois plus petites que les spores ordinaires ; on rencontre en même temps des cellules mères renfermant une grande quantité de portions plasmatiques de différentes dimensions, prêtes à se transformer en spores (fig. 79, 80).

D'après moi, la division du plasma se fait dans ce cas de la manière suivante : Au lieu de la division qui devrait commencer après le second degré de métamorphose, il se produit plusieurs centres physiologiques, comme dans la phase III, et ces centres, on le comprend, ne peuvent tous avoir le même volume. Nous voyons ce phénomène dans l'une des portions plasmatiques de la figure 81, où, à côté du centre principal, il en existe un autre plus petit. Après l'apparition de ces centres, la division se fait comme à l'ordinaire, passant par les mêmes degrés de métamorphose chimique du plasma.

Ainsi, l'histoire du développement des spores de l'*Angiopteris* comprend 23 phases que nous pouvons distinguer au moyen de nos méthodes d'observation, mais qui, selon toute probabilité, passeraient insensiblement l'une dans l'autre, si nous avions tous les phénomènes et si les observations étaient plus délicates.

Ces phases se groupent aisément en deux grandes périodes :

(1) *Nuovo Giorn. botan. ital.*, t. V, p. 21

La première, jusqu'à l'apparition de l'enveloppe propre de la spore, est une période de métamorphose chimique très-active du plasma, d'équilibre essentiellement instable, de ses forces physiologiques, de modifications centrifuges. La seconde est une période d'apparition, de différenciation de la forme, comme résultat de la première période. Elle est caractérisée par l'établissement d'un équilibre stable des forces chimiques au sein du plasma, par suite duquel commencent des différenciations secondaires et des changements morphologiques allant de la périphérie au centre, contrairement à ce qui arrivait dans la première période. C'est donc une période de modifications centripètes.

Dans la première période, les changements du plasma sont purement chimiques, c'est pourquoi ils sont invisibles sans des manipulations spéciales. Sous l'influence de l'eau, employée comme réactif, ils apparaissent sous forme de *nucléus*, de *nucléole* des auteurs et de couche périphérique plus dense. Dans la seconde période, tout s'individualise morphologiquement, et nous avons le nucléus vrai, le nucléole vrai, et l'enveloppe primaire de la spore, l'exospore, qui commencent la série de leurs modifications ultérieures.

Pour distinguer ces deux états, j'appellerai les sphères qui ne paraissent que sous l'influence de l'eau et qui ne sont différenciées que chimiquement : *pronucleus* et *pronucleolus*, indiquant par là que ces sphères se transformeront plus tard en vrais nucléus et nucléole. Quant à ce qui est des ornements de la spore, je leur donnerai le nom d'*ornamenta differenciata*, pour rappeler leur mode de formation.

Ainsi, dans la première période, il n'existe que des *pronuclei*, dans la seconde que des *nuclei*, et si dans les travaux suivants j'arrive à parler de cellules ayant des *pronuclei*, cela voudra dire que le caractère général des cellules est semblable à celui des cellules de l'*Angiopteris*.

Je dois citer ici trois auteurs dont les travaux confirment mes observations.

M. Sanio (1) admettait autrefois que les *nuclei* dans les cel-

(1) *Bot. Zeitg*, 1856, p. 177.

lules mères de l'*Equisetum* dépendent de l'action de l'eau; mais plus tard (1) il a été amené à une opinion contraire par M. Hofmeister (2).

M. Millardet (*Prothallium male*, Strasbourg, 1869), décrivant les phénomènes qui précèdent la formation des cellules mères des anthérozoïdes dans les microspores de l'*Isoetes* (p. 14), ne sait s'il doit donner aux endroits clairs des cellules de la face abdominale de la spore le nom de nucléus, ou bien s'il doit les considérer comme des cellules primordiales sans nucléus. Ces cellules commençant à se segmenter par un étranglement, il est clair que M. Millardet avait affaire ici aux *pronucleus* des cellules mères des anthérozoïdes.

Plus tard, M. Hanstein (*Bot. Zeit.*, 1872, n° 2, pl. 22), expliquant les causes du déplacement du nucléus dans les cellules du parenchyme et des poils, dit qu'il faut considérer le plasma des cellules des plantes supérieures comme un organisme amiboïde (pl. 27). Il ajoute plus loin qu'il est difficile de distinguer les limites entre la substance du nucléus et celle du plasma (pl. 25). D'après Brucke, le plasma serait également un organisme individualisé. M. Hanstein remarque enfin que si l'on trouve dans les cellules de plantes supérieures un nucléus nettement défini, c'est parce que les cellules sont tuées par les manipulations ou par l'absorption de l'eau (pl. 44); il fait aussi ressortir ce fait, que pendant la division le noyau devrait se diviser et non se dissoudre.

Tout cela ressemble beaucoup aux opinions que j'ai formulées d'une manière très-précise et très-positive en 1871; pourtant il est clair que M. Hanstein n'a pas pu lire mon mémoire en russe, car il a publié ses observations dès décembre 1870 (3).

L'idée ou, pour mieux dire, l'hypothèse que le plasma est un organisme n'est pas neuve; mais le plasma des cellules du parenchyme des plantes supérieures n'est pas au même degré de développement que l'amibe. Si le plasma est un organisme, dans les plantes supérieures il est privé de son existence individuelle,

(1) *Bot. Zeitg*, 1857, p. 657.

(2) *Zusätze und Berichtigungen*, in *Pringsh. Jahrbüch für w. Bot.* Bd. III.

(3) *Sitzungsberichte der niederrheinitchen Gesellschaft in Bonn*, 19 décembre 1870.

tandis que l'amibe la conserve complétement. Or, nous savons que, lorsque l'individu perd son existence individuelle, son organisation devient inférieure par la division du travail physiologique entre plusieurs individus ; ceci seul suffit pour conclure à priori, que l'organisation du plasma est inférieure à l'organisation de l'amibe.

En effet, que peut-il y avoir de plus simple que la différenciation chimique du pronucléus ?

En tout cas, les observations de M. Hanstein sont extrêmement remarquables, et je m'empresse de reconnaître la sagacité de ce savant distingué en citant ses opinions, qui, publiées en même temps que mes recherches, n'en démontrent pas moins la vérité des observations et des théories que j'ai exposées dans un mémoire russe que M. Russow, un auteur couronné pourtant par l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg (1), a complétement ignoré.

Je me suis borné ici aux considérations qui ont trait au développement des spores dans l'*Angiopteris longifolia* pour ne pas avoir à y revenir dans les mémoires suivants. Quant à ce qui est des considérations qui paraissent générales et qui ont trouvé place ici, elles sont en réalité spéciales, car elles ne se rapportent qu'à une certaine espèce de plasma dont les cellules mères de l'*Angiopteris* peuvent servir d'exemple. Je n'exposerai les considérations générales qu'après avoir publié toute la série de mes recherches sur la physiologie de la cellule végétale ; mais je ne puis éviter de signaler ici la relation étroite qui existe entre les résultats de ces différentes recherches. Je prie donc de ne pas considérer dès à présent mes idées théoriques comme trop prématurées et trop larges pour un cas spécial, quoiqu'on puisse supposer, par analogie, que les fonctions physiologiques fondamentales ont une grande généralité et doivent être soumises aux mêmes lois.

Dans des cas analogues, les savants ont observé jusqu'à présent des cellules mortes, la preuve en est dans la ressemblance

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg*, 7e série, 1872, t. XIX, n° 1.

de leurs cellules avec ce que j'ai appelé les états *c*, *d* de l'action de l'eau.

En effet, le plasma qu'ont observé les auteurs ne manifeste pas le caractère de sa vitalité, ce *protéisme*, cette plasticité qui distinguent le plasma vivant ; tel qu'il a été décrit, il ne correspond pas, par ses modifications, à l'action des agents extérieurs, il a perdu « cette harmonie avec le milieu correspondant qui constitue la vie » (1). Tandis que mes cellules correspondent parfaitement à cette condition de la vie, car les modifications que j'y observe ne sont que des résultats des circonstances de l'observation, et mènent, en dernier lieu, aux phénomènes qu'on a depuis longtemps signalés et que j'ai décrits pour les Polypodiacées (voyez la note dans le *Nuovo Giorn. bot. italiano*), pour montrer qu'avec des cellules mortes on arrivait forcément aux résultats connus de tout le monde, sauf peut-être pour quelques particularités spéciales à tel ou tel cas.

EXPLICATION DES PLANCHES.

Dans toutes les figures les lettres ci-dessous ont toujours la même signification.

F, faisceau vasculaire.
f, canal gommeux.
k, cellules gommeuses.
sp, sporange.
ex, exosporium ; 1, 2, couches de l'exosporium.
end, endosporium.
p, perisporium.
a, *b*, *c*, *d*, *e*, les différents états du plasma d'un même échantillon de cellule dans les différents moments de l'action de l'eau.

Les figures marquées par un même chiffre présentent un même échantillon de cellule dans les différents états *a*, *b*, *c*, etc. L'état *a*, qui est l'origine de tous les autres et qui est le même pour toutes les phases, n'est indiqué que pour la première phase, afin de gagner de la place.

m indique l'état du plasma sous l'influence d'une secousse mécanique.

Le microscope employé était de Hartnack ; les dessins ont été faits au moyen de la chambre claire. Les dimensions ne sont pas données à cause de l'inconstance dans le volume d'une même cellule pendant l'action de l'eau.

Les grossissements sont indiqués à chaque figure.

(1) Auguste Comte.

SUR

LA DISPERSION GÉOGRAPHIQUE DES FOUGÈRES

DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE (1),

Par M. Eug. FOURNIER.

L'étude monographique des Fougères de la Nouvelle-Calédonie, que j'ai entreprise sous la direction bienveillante de M. Ad. Brongniart, et qui vient d'être publiée dans les *Annales des sciences naturelles*, m'a conduit à des résultats que j'espère n'être pas sans importance, et que je suis heureux d'exposer devant l'Académie.

Les Fougères de la Nouvelle-Calédonie, dont Labillardière n'avait connu que peu d'espèces, ne sont dans le *Geographical Handbook* de M. Lyell qu'au nombre de 77. Cependant, en réunissant celles que Mettenius (*Annales des sciences naturelles*, 4ᵉ série, t. XV) et Van den Bosch (*ibid.*, et *Suppl. Synopseos Hymenophyllacearum*, in *Nederlandsch Kruidkundig Archief*, t. V) avaient indiquées, on obtient un total de 128. D'après MM. Vieillard et Deplanche (*Revue maritime et coloniale*, 1862, t. VI, p. 616), les Fougères de la Nouvelle-Calédonie atteignaient, après leur exploration, le chiffre de 160 environ. Depuis, plusieurs voyageurs ont parcouru cette île : le collecteur anglais Mac Gillivray ; une expédition australienne dont le savant directeur du jardin des plantes de Melbourne, M. F. de Müller, a fait parvenir au Muséum de Paris un exsiccata assez pauvrement échantillonné ; et, parmi les Français, M. le capitaine Jouan, dont les récoltes ont été déterminées par Mettenius dans une note spéciale (*Mémoires de la Société des sciences naturelles de Cherbourg*, t. X), et MM. Pancher, Baudouin, Thiébaut et Delacour ; enfin, le dernier et le principal, M. Balansa, qui a visité

(1) Un extrait de ce mémoire a été inséré dans les *Comptes rendus*, séance du 5 janvier 1874.

l'île bien plus complétement que ses prédécesseurs, et entrepris l'exploration des montagnes de l'intérieur. En réunissant les Fougères contenues dans les herbiers de ces botanistes, je suis arrivé à un total de 259. Je ne comprends pas dans ce nombre quelques espèces indiquées par M. Lyell dans son *Handbook*, ou par Mettenius dans le *Voyage de la Novara*, que je n'ai trouvées dans aucune collection de la Nouvelle-Calédonie, de peur de sanctionner involontairement quelque erreur dont la source me serait inconnue. J'ai eu soin cependant, dans la monographie publiée, de signaler ces espèces en faisant les réserves nécessaires.

Ce chiffre de 259 espèces de Fougères est assurément considérable pour une île de 80 lieues de long environ, dont les plus hauts sommets ne dépassent pas 1600 mètres. Pour le faire apprécier en meilleure connaissance de cause, je puis citer celui qui a été reconnu dans quelques groupes d'îles voisines de notre colonie, îles dont les Fougères ont été l'objet de travaux particuliers et consciencieux. Ainsi celles des Nouvelles-Hébrides s'élèvent à 127, d'après M. Kuhn (*Verhandlungen der K. K. zool.-bot. Gesellschaft in Wien*, 1869); celles des Viti à 175, d'après M. Carruthers dans le *Flora vitiensis;* celles des Samoa au nombre de 141 (1), d'après M. Lürssen (*Mittheilungen aus dem Gesammtgebiete der Botanik* von Schenk et Lürssen, t. I[er]). Je ne rappelle pas ici la liste des Fougères de Taïti dressée par M. Nadeaud dans son énumération des plantes de cette île, parce que cette liste, bornée aux récoltes personnelles de M. Nadeaud, est évidemment incomplète. Il ressort, en tout cas, de ces citations que la richesse de la flore néo-calédonienne est extrême quant aux Fougères; d'autant plus qu'il y a probablement, malgré les dernières recherches de M. Balansa, encore des découvertes à faire dans la flore de notre colonie australe parmi les Hyménophyllées et les Aspléniées.

(1) En extrayant des Fougères les *Lycopodium* et les autres genres que nous ne comprenons pas dans cette famille. On sait que M. Lürssen a sur ce point de classification une méthode particulière.

La famille des Fougères présente, à la Nouvelle-Calédonie, des espèces spéciales, et d'autres qui sont communes à cette île et à des régions différentes. Les premières sont au nombre de 86. Ces espèces spéciales se trouvent quelquefois dans des genres spéciaux (*Stromatopteris*, *Austrogramme*), ordinairement dans des sous-genres ou dans des groupes particuliers. Je citerai le groupe du *Trichomanes dentatum* dans les Hyménophyllées; le sous-genre *Cryptosorus* dans les Polypodiées; dans les Lomariées, les *Lomaria* à fronde dimorphe; dans les Davalliées, le grand développement du genre *Lindsæa;* et notamment les *Lindsæa* du groupe que j'ai nommé *Davalliastrum*, dont les indusium ressemblent à ceux du *Davallia tenuifolia* Sw., quoiqu'ils ne soient pas attachés par les bords; le genre *Humata* Cav.; parmi les Cyathéacées, le groupe de l'*Alsophila Novæ-Caledoniæ*, auquel M. Bommer a reconnu dernièrement une valeur générique; enfin, parmi les Schizéacées, le sous-genre *Actinostachys*, comme propres à la Nouvelle-Calédonie ou comme offrant dans sa flore un développement particulier. En général ces types, découverts en partie par M. Balansa, habitent des hauteurs plus ou moins élevées dans l'intérieur de l'île.

Parmi les plantes que nous étudions, il se trouve deux catégories de Fougères bien connues des ptéridographes. La première offre des frondes variables, à limbe ou à segments entiers, mais décomposables en pinnules plus ou moins divisées. A cette section appartiennent le *Pteris polymorpha*, n. sp., le *Lomaria Vieillardii* Baker, et les *Asplenium* du groupe de l'*A. nodulosum* Kaulf. Il semble que ces espèces, très-communes en Calédonie ou spéciales à cette île, y atteignent facilement une phase plus avancée dans leur développement, car la division en pinnules est le fait d'une progression organique, les premières frondes étant toujours moins divisées que les suivantes.

La seconde des deux catégories que je signale contient les Fougères à nervation réticulée, telles qu'il en existe dans presque toutes les grandes divisions taxinomiques de ces plantes. Nulles en Europe, et peu nombreuses en Amérique, les espèces à ner-

vation réticulée sont, proportion gardée, plus communes en Polynésie, et notamment à la Nouvelle-Calédonie, par exemple dans les sous-genres *Nephrodium*, *Litobrochia*, *Schizoloma*, *Synaphlebium* et *Lygodictyon*. Or, il est un fait encore peu connu, c'est que la nervation, chez ces espèces, varie dans certaines limites. J'ai déjà constaté ce fait, en étudiant les Fougères du Nicaragua, sur le *Phegopteris tetragona;* je l'ai constaté plus récemment encore dans une note lue l'été dernier au congrès de Bruxelles, et j'ai fait voir que la complexité de la nervation augmente avec l'âge de la plante, les frondes les premières nées ayant les nervures libres dans le *Pteris* (*Litobrochia*) *Orizabœ.* Je suis donc autorisé à dire que les Fougères à nervation anastomosée, abondantes à la Nouvelle-Calédonie, peuvent être regardées, quand elles appartiennent à un genre où il existe déjà des formes à nervilles libres, comme décelant dans ce genre un progrès de développement.

Ces considérations concordent avec celles que M. J. Hooker a déjà tirées de l'examen des flores insulaires. En les produisant, je suis loin cependant de prétendre indiquer un procédé par lequel une espèce franchirait les limites de son type pour passer dans un type voisin. Je constate seulement que les limites spécifiques sont plus étendues dans un grand nombre de cas que ne l'ont pensé quelques auteurs. C'est le cas de rappeler avec M. Decaisne que l'espèce est tantôt polymorphe et divisible à l'infini, tantôt restreinte entre des limites étroites et infranchissables. Le polymorphisme a été surtout constaté dans les espèces cultivées, c'est-à-dire là où l'industrie humaine a parqué les végétaux dans des conditions artificielles et restreintes où s'est forcément bornée leur activité vitale. D'après ce que je viens d'exposer, il semblerait que dans une île, c'est-à-dire dans les conditions topographiques restreintes où les révolutions du globe les ont placées, les espèces végétales spontanées offrent la même tendance à la variation que les espèces cultivées.

Cette tendance à la variation est évidente parmi les Fougères de la Nouvelle-Calédonie, notamment chez l'*Asplenium Vieillardii* Mett., dont les types extrêmes paraissent constituer trois

espèces différentes, et dans le *Selliguea peltatisquama*, n. sp., dont les formes extrêmes pourraient facilement être tenues pour appartenir à des genres différents. On pourrait multiplier ces exemples, offerts par la flore d'autres îles océaniennes au témoignage de Gaudichaud (1), qui attribuait ces modifications surprenantes aux transitions subites que fait subir aux végétaux, vers l'altitude de 600 mètres environ, l'alternative d'une chaleur desséchante et d'une humidité extrême causée par la proximité des nuages.

Une fois cette curieuse flore de Fougères bien connue en elle-même, il importait de la comparer avec celle des pays voisins, ce que permet de bien faire la belle collection de Fougères océaniennes rassemblée aujourd'hui dans la galerie de botanique du Muséum. Ces plantes proviennent principalement des grands voyages de circumnavigation accomplis par Labillardière, Chamisso, Dumont d'Urville, Gaudichaud et Bory de Saint-Vincent; des envois de Blume et de Cuming; des récoltes faites aux îles Viti par Seemann, aux Nouvelles-Hébrides par Milne et Mac Gillivray (2); de l'exploration dirigée dans le Pacifique par le capitaine Wilkes, de la marine des États-Unis, la même qui a fourni à M. Hales des documents d'un si haut intérêt pour l'anthropologie ; enfin du séjour de MM. Vieillard, Pancher, Vesco, Ribourt et Lépine à Tahiti. Cette comparaison a donné les résultats géographiques suivants :

FOUGÈRES.

Constatées à la Nouvelle-Calédonie			259
Spéciales à la Nouvelle-Calédonie (Lifou et l'île des Pins comprises)			86
Communes à la Nouvelle-Calédonie		et aux Nouvelles-Hébrides	64
Id.	id.	et aux Viti	52
Id.	id.	et aux Samoa	41
Id.	id.	et aux Sandwich	9
Id.	id.	et à la Polynésie en général	114
Id.	id.	et à la Malaisie en général	73

(1) *Voyage de l'Uranie*, Bot., p. 99.

(2) Dans une lettre toute récente, M. Baker nous assure que les Fougères des Nouvelles-Hébrides, attribuées par M. Kühn au collecteur Herus, ont été réellement recueillies par M. Mac Gillivray.

Communes à la Nouvelle-Calédonie, à la Polynésie et à la Malaisie (les espèces ubiquistes exceptées)		35
Id. à la Nouvelle-Calédonie, à l'Inde et à Ceylan		40
Id. à la Nouvelle-Calédonie, à la Nouvelle-Hollande, à la Nouvelle-Zélande, à la Tasmanie, à Auckland, etc.		58
Id. à la Nouvelle-Calédonie et à la Mélanésie supérieure		14
Id.	id. et à la Micronésie	10
Id.	id. et à Formose et au Japon	12
Id.	id. et à l'Amérique	9

Il ressort de ce tableau plusieurs faits importants. Le premier, c'est que les espèces néo-calédoniennes, non spéciales à notre colonie, considérées dans leurs affinités géographiques, se répartissent d'une manière générale en deux catégories assez tranchées. Les unes se répandent à l'est dans la Polynésie, au nord dans la Micronésie, à l'ouest dans la Malaisie, et vont même atteindre aux limites extrêmes de leur aire le Japon, la Chine, Ceylan et la péninsule indienne; les plus communes de ces espèces, celles que les voyageurs ont rencontrées le plus souvent, s'étendent ainsi de Tahiti à Java et souvent plus loin, sans s'écarter beaucoup des mêmes latitudes. Ces espèces se trouvent indifféremment réparties dans des genres assez divers, sans présenter aucun caractère d'ensemble; quelques-unes d'entre elles descendent aussi dans la Nouvelle-Hollande. Mais il existe une seconde catégorie, composée d'espèces appartenant à des groupes de caractères assez tranchés, qui descend spécialement dans la Nouvelle-Hollande, l'île Norfolk, la Nouvelle-Zélande, la Tasmanie et l'île Auckland. A cette seconde catégorie appartiennent les *Gleichenia*, le *Lomaria procera* et espèces voisines; le *Trichomanes Lyallii*, qui forme un sous-genre incertainement classé sur les limites du genre *Trichomanes* et du genre *Hymenophyllum;* un autre groupe d'Hyménophyllées voisin de l'*H. flabellatum* La Bill., d'Australie; le *Pteris tremula* R. Br., le *Lindsæa linearis* Sw. et le *L. microphylla* Sw., les *Schizæa* du groupe *Euschizæa*, etc.

Cette double distribution géographique n'est pas uniquement propre aux Fougères dans la flore de la Nouvelle-Calédonie. M. Brongniart l'a remarquée également sur les Myrtacées de la

même provenance : il a constaté que les Myrtacées néo-calédoniennes à fruit charnu ont de l'analogie avec les espèces javanaises et polynésiennes, et que les Myrtacées à fruit capsulaire en ont avec les espèces australiennes (1). M. Bescherelle, dans sa *Florule bryologique de la Nouvelle-Calédonie*, fait remarquer que cette île emprunte « une partie de sa flore muscinale aux îles de la Malaisie et de la Micronésie, et une autre partie à la côte orientale de l'Australie, à la Tasmanie, à la Nouvelle-Zélande et aux petites îles intermédiaires ou voisines. » Il est probable que des affinités analogues seront relevées à mesure qu'avancera dans les détails l'étude de la flore de notre colonie. Dès à présent la zoologie fournit des points de comparaison intéressants. Ainsi, d'après les recherches encore inédites de M. Alph. Milne Edwards, la faune carcinologique de la Nouvelle-Calédonie se poursuit jusqu'à Java, tandis que, au point de vue entomologique (de Quatrefages, *Rapport sur les progrès de l'anthropologie*, p. 168), notre colonie océanienne ne fait qu'un avec la Nouvelle-Zélande et la Nouvelle-Hollande.

On peut encore faire remarquer que la double distribution géographique dont nous parlons concorde d'une manière assez frappante avec celle des deux races humaines principales qui se partagent encore aujourd'hui l'Océanie, et qui, malgré des migrations réciproques, sont assez nettement cantonnées et séparées encore dans chacune des deux régions où nous reportent les affinités de nos Fougères, savoir : l'une, la race malayo-polynésienne, depuis Madagascar et l'archipel asiatique jusqu'à l'extrémité orientale de la Polynésie ; l'autre, dans l'Australie et en général dans la Mélanésie, la race nègre, à laquelle appartenait probablement la population primitive de la Nouvelle-Zélande avant l'immigration des Maoris.

Au-dessous de ce fait général, il s'en rencontre encore d'autres dignes d'intérêt : d'abord celui-ci, c'est que les affinités géographiques des Fougères néo-calédoniennes, dans l'aire immense que je viens d'envisager, sont d'autant plus nombreuses avec

(1) Voy. *Ann. sc. nat.*, 5e série, t. II, p. 125.

un pays donné, que ce pays est lui-même plus rapproché de la Nouvelle-Calédonie.

Ainsi, en tenant compte du nombre absolu des Fougères connu dans les pays que nous comparons, nous remarquons que les Nouvelles-Hébrides, le groupe insulaire le plus rapproché de la Nouvelle-Calédonie, renferme le quart des Fougères néo-calédoniennes, qui y forme la moitié de la totalité de leurs Fougères ; pour les Viti, c'est le cinquième des Fougères néo-calédoniennes qui y forme le tiers du nombre total de cette famille. Si l'on s'éloigne du pays que nous étudions, les proportions d'espèces identiques diminuent rapidement. Ainsi il n'y a plus aux Samoa que 41 Fougères néo-calédoniennes (1). Aux Sandwich, dont les Fougères, non encore énumérées complétement et spécialement, sont cependant nombreuses, comme on peut s'en assurer par l'ouvrage de Brackenridge (*Exploring Expedition of the United States under the command of captain Wilkes : Filices*) (2), il n'y a plus que 9 Fougères néo-calédoniennes, et l'on rencontre des genres qui ne sont pas représentés en Calédonie, par exemple le curieux genre *Adenophorus*, d'un port si spécial (3).

A l'ouest de l'aire, les affinités géographiques se poursuivent à des distances beaucoup plus considérables, car en concevant dans une même région, le Cap, la côte de Natal et les îles australes de l'Afrique, on trouve dans cette région 23 Fougères néo-calédoniennes, qui y tranchent parmi des espèces très-nombreuses et très-différentes, de même que les Hovas, rameau occidental de la famille malaise, s'y distinguent par leurs caractères anthropologiques parmi les autres tribus humaines. Quelques-unes des espèces océaniennes qui se retrouvent à des distances aussi éloignées de la Nouvelle-Calédonie n'ont encore été signalées

(1) J'avais donné d'abord un nombre plus faible, qu'il faut élever d'après un document plus complet publié plus récemment par M. Lürssen sur les Fougères des Samoa.

(2) Il est regrettable que les planches de cet ouvrage, indispensable pour l'étude des Fougères océaniennes, manquent aux bibliothèques de Paris.

(3) C'est le cas de rappeler qu'aux Sandwich le type anthropologique est plus foncé que dans la race malayo-polynésienne.

dans aucune région intermédiaire, ou bien ne l'ont été que dans la Mélanésie inférieure, notamment celles du sous-genre *Darea*.

Ces études rappellent naturellement à l'esprit des hypothèses qui ont cours dans la science, celle des centres de création d'une part, et d'autre part celle des continents disparus. Il est évident qu'en voyant décroître, à partir de la région que nous étudions, les nombres qui expriment les proportions d'espèces identiques, on doit songer combien il serait logique d'admettre un centre de création au voisinage de la Nouvelle-Calédonie. Mais, sans vouloir approfondir ce point plus que ne le comporte une étude bornée aux Fougères, je dois faire observer qu'il y aurait bien plus d'un centre de création en Océanie, puisque les Sandwich ont une flore en partie spéciale; puisque, d'après M. Jouan (1), les sommets des Marquises, plus rapprochés de l'équateur que la Nouvelle-Calédonie, nourrissent cependant, à une altitude moindre, des végétaux habitant ordinairement les contrées soumises aux hivers; enfin, puisqu'il existe à Tahiti nombre de Fougères qui ne s'étendent pas dans la Polynésie orientale, etc. En tout cas, le centre néo-calédonien embrasserait les nombreuses espèces particulières de ce pays, qui souvent appartiennent à des genres parfaitement tranchés, et qui ont leurs affinités dans la Nouvelle-Zélande et la Nouvelle-Hollande.

L'hypothèse de la submersion d'un continent dans le Pacifique est ancienne dans la science, où elle a été introduite par Forster. Dumont d'Urville l'a soutenue, et, après lui, M. J. Hooker s'en est beaucoup rapproché en écrivant l'introduction de sa Flore de la Nouvelle-Zélande. Le plus intrépide champion de cette hypothèse est certainement aujourd'hui M. Jules Garnier, qui, dans son mémoire intitulé *les Migrations polynésiennes* (2), a écrit :

« L'examen de l'écorce terrestre autour de la Polynésie proprement dite fait ressortir jusqu'à l'évidence que pendant l'épo-

(1) *Recherches sur l'origine et la provenance de certains végétaux phanérogames observés dans les îles du grand Océan* (*Mémoires de la Société des sciences naturelles de Cherbourg*, 1865).

(2) *Bulletin de la Société de géographie*, 187 .

que tertiaire et jusqu'à la quaternaire, un continent plus ou moins vaste se montrait en Océanie ; en s'affaissant au commencement de la période géologique que nous traversons, il a dû laisser le relief de cette partie du monde à peu près comme nous le voyons aujourd'hui, si toutefois nous en sortons les îles volcaniques. »

Mais il faudrait aussi en sortir les îles madréporiques, et alors il ne resterait à peu près rien de la Polynésie. Aussi les géologues, dont M. Dana a résumé les idées à cet égard, sont-ils aujourd'hui très-opposés à cette théorie. Sans doute, quand on parcourt l'Océanie suivant un même parallèle de latitude, on est frappé par la végétation généralement analogue qu'on rencontre sur tous les rivages des îles : végétation que Gaudichaud nommait *littorale océanienne* (1). Mais l'aspect change quand on pénètre dans l'intérieur des grandes îles, dont les montagnes recèlent en général des richesses végétales plus variées, plus ou moins propres à quelques-unes d'entre elles. Il semble par conséquent que la végétation littorale ait été transmise par les courants et les vents. C'est un point sur lequel Gaudichaud a spécialement insisté dans l'ouvrage auquel nous venons de faire allusion (2). Il faut lire ce qu'il dit de ces radeaux naturels formés de productions végétales enlevées aux rivages de l'Océanie par les hautes marées, et qui, réunies par bancs immenses, lui rappelaient les trains de bois que l'on voit sur nos rivières, pour comprendre quelle facilité de diffusion peuvent trouver dans ces phénomènes pour ainsi dire périodiques les graines de certains végétaux. A une certaine époque on répugnait à donner droit de cité dans la science à cette théorie, parce qu'on croyait à l'existence de vents et de courants continus et de même sens de chaque côté de l'équateur, dans la région océanienne. M. Jouan a déjà présenté, dans le mémoire que nous venons de citer, des considérations qui restreignent de beaucoup cette croyance, erronée dans ce qu'elle a de général et d'absolu ; et les documents dus à M. le capitaine de vaisseau Kerballet, et reproduits par M. de Quatrefages dans son grand mémoire sur les *Migrations polyné-*

(1) *Botanique du voyage autour du monde exécuté par M. de Freycinet*, p. 52.
(2) *Ibid.*, p. 60.

siennes, la mettent tout à fait à néant. Rien n'est plus aisé maintenant que de concevoir la migration des végétaux littoraux qui forment sur les rivages des îles polynésiennes une ceinture généralement analogue, mais plus variée cependant aux Sandwich, lesquelles se trouvent précisément un peu en dehors de l'action des mêmes courants.

Toutefois, pour les plantes de l'intérieur des îles, l'explication fait défaut. Gaudichaud invoquait ici l'action des nuages, plus difficile à concevoir. Toute hypothèse échoue devant ce fait que la diversité des flores est plus grande entre certaines îles, tandis que l'affinité est plus grande entre d'autres. Or, si l'hypothèse d'un continent polynésien submergé paraît aujourd'hui devoir être abandonnée, devant les considérations de géographie botanique comme devant les considérations de géologie, il n'en est pas de même de l'hypothèse, beaucoup plus restreinte, qui consiste à considérer la Nouvelle-Calédonie comme ayant été jointe autrefois à d'autres points de la Mélanésie, et spécialement par l'intermédiaire de l'île Norfolk et peut-être d'autres îles submergées, à quelque point de la Nouvelle-Hollande sur le rivage de Queensland, ainsi qu'à la Nouvelle-Zélande, et plus loin, par d'autres intermédiaires, à la Tasmanie et à l'île Auckland. Cette hypothèse expliquerait la présence simultanée, dans des contrées aujourd'hui différentes par leur climat, d'espèces appartenant à des groupes homogènes, que les courants n'auraient dû pour aucune cause transporter de préférence à d'autres, et qui, vivant dans l'intérieur des montagnes, sont moins exposées que les espèces littorales à être entraînées par les agents extérieurs.

Nous n'avons aucune raison pour insister ici sur les opinions de M. J. Hooker, qui, dans son introduction à la Flore de la Nouvelle-Zélande, a été conduit à supposer l'existence d'un ancien continent ou d'anciennes îles considérables dans la direction du Chili à la Nouvelle-Hollande, et même du Chili à Tristan d'Acunha. En effet, nous n'avons relevé presque aucune affinité dans notre étude spéciale, entre la flore néo-calédonienne et celle du sud de l'Amérique. Tout au plus peut-on signaler le *Pteris aurita* Thunb. comme voisin du *Pteris Vespertilionis*,

qui habite le Chili; le *Dicksonia Berteroana* Hook. comme se retrouvant à Juan-Fernandez ; le *Grammitis pseudaustralis*, qui habite le sommet des montagnes en Calédonie, comme ressemblant beaucoup au *Grammitis australis* des terres magellaniques.

Mais quant aux îles Mascareignes, il est bien difficile d'expliquer par un fait de transport les affinités singulières qui relient leur flore à celle des îles océaniennes en particulier dans certains groupes, notamment pour le genre *Darea,* si étendu à l'île Maurice, que Gaudichaud l'a cru spécial à cette île (1). Supposer des terres disparues entre Madagascar et l'Australie est une hypothèse hardie, qui pourra un jour s'imposer à la science. On consultera avec le plus grand intérêt, sur ce sujet, les vues récemment émises par M. Alph. Milne Edwards et tirées de la comparaison des faunes.

Le dernier fait que j'ai à relever dans cette étude est l'infériorité numérique très-faible qui caractérise les rapports des Fougères néo-calédoniennes avec les Fougères américaines. Sur 259 Fougères, la Nouvelle-Calédonie n'en contient que 9 qui se retrouvent en Amérique ; et encore ces 9 espèces sont-elles, pour la plupart, des espèces ubiquistes qui remplissent toute la région tropicale et même la dépassent quelquefois. Cette observation sert à réfuter un argument que M. Jules Garnier a invoqué pour soutenir l'origine américaine des Polynésiens (2), dans les termes suivants :

« Ceux qui ont vu les côtes de l'Amérique au voisinage de l'équateur, ainsi que les îles polynésiennes qui en sont le plus rapprochées, constatent une similitude extraordinaire des flores. A Panama et à Tahiti, la végétation est identique : ce sont les mêmes fourrés impénétrables, les mêmes forêts de Cocotiers et surtout d'Arbres à pain.... A Tahiti, dont on connaît aujourd'hui toute la flore, il n'est pas une seule plante qui ne se trouve sur la côte d'Amérique à l'est, et à la Nouvelle-Calédonie à l'ouest. »

(1) Gaudichaud, *op. cit.*, p. 90.
(2) *Loc. cit.*, p. 14.

Cette assertion, valable tout au plus pour une faible partie de la végétation littorale, est en désaccord avec la grande majorité des faits; la végétation tahitienne, très-différente de la végétation américaine, n'a même qu'une affinité partielle avec celle de la Nouvelle-Calédonie. L'argument tiré de la géographie botanique se retourne donc contre M. Garnier, loin de favoriser des idées que beaucoup d'autres raisons concordent à rendre aujourd'hui difficiles à soutenir. Il n'y a, je le répète, que 9 des Fougères néo-calédoniennes qui se retrouvent en Amérique. Ce fait est d'autant plus important, que les Fougères américaines sont au nombre de plusieurs centaines : j'en ai constaté plus de 600 seulement au Mexique (1). Or, une partie très-notable de ces dernières s'étend à travers tout le continent américain d'un tropique à l'autre, c'est-à-dire d'Orizaba à Rio-de-Janeiro. On a vu, au contraire, combien est faible en Océanie, dans des conditions géographiques analogues, l'affinité de la flore des Sandwich avec celle de la Nouvelle-Calédonie : c'est encore une nouvelle preuve contre l'hypothèse d'un ancien continent général à toute l'étendue qui ne présente plus aujourd'hui d'autre terre émergée que les îles de la Polynésie.

(1) *Compt. rend.*, t. LXVIII, p. 1040, et *Bull. Soc. bot. de Fr.*, 1869, session de Pontarlier.

OBSERVATIONS

SUR

LES CRISTAUX D'OXALATE DE CHAUX

CONTENUS DANS LES PLANTES

ET SUR LEUR REPRODUCTION ARTIFICIELLE,

Par M. Julien VESQUE (1).

---

§ 1.

L'oxalate de chaux dans les végétaux.

Les cristaux d'oxalate de chaux sont contenus dans les cellules, rarement dans les parois cellulaires. L'oxalate de chaux renfermé dans les plantes, de même que le sel artificiel, est dimorphe; il cristallise dans le système prismatique carré droit avec 6 équivalents d'eau, et dans le système clinorhombique avec 2 équivalents d'eau. Les formes les plus fréquentes, appartenant au système prismatique carré, sont des octaèdres très-plats, connus sous le nom d'*enveloppes de lettres*, et des prismes carrés surmontés de pyramides carrées, formes qui se rencontrent le plus souvent agglomérées, comme Payen les a décrites avec soin dans les Cactées (2). De même qu'il est difficile de reproduire artificiellement une forme quelconque de ce sel complétement exempte d'octaèdres ou de ses dérivés, de même ces octaèdres se rencontrent souvent, accompagnés d'autres formes, dans la même cellule. Les aiguilles ou raphides paraissent souvent aussi appartenir à ce système : de longs prismes carrés surmontés de pyramides; mais ordinairement elles appartiennent

(1) Expériences faites au laboratoire de culture de l'École des hautes études, au Muséum d'histoire naturelle.

Je dois à MM. Decaisne et Dehérain les remercîments les plus sincères pour les conseils qu'ils n'ont cessé de me prodiguer.

(2) Payen, cinquième mémoire *Sur le développement des végétaux*.

au système oblique. Ce dernier système est beaucoup plus répandu dans les végétaux que le premier, et fournit les formes les plus variées, simples, maclées, agglomérées. Un fait sur lequel aucun des auteurs qui se sont occupés de cette question n'a suffisamment insisté, c'est la constance des formes cristallines pour les diverses espèces, genres et familles. Beaucoup de plantes offrent des formes distinctes, mais constantes dans leurs différentes parties. Dans la famille des Buttnériacées, il y a une distinction remarquable des formes cristallines du parenchyme fondamental.

Ainsi, dans le *Pterospermum*, les cristaux de l'écorce sont agglomérés et ceux de la moelle sont simples.

Les *Dombeya* et les *Guazuma* ont des cristaux simples dans l'écorce et dans la moelle.

Le *Buttneria* a un mélange de cristaux simples et de cristaux agglomérés dans la moelle et dans l'écorce.

Enfin, les Malvacées ont des cristaux toujours agglomérés dans la moelle et dans l'écorce.

Le voisinage d'un tissu différent paraît influer aussi sur la forme cristalline : ainsi, dans la Vigne, il y a de grandes cellules à raphides au milieu des rayons médullaires ; tandis qu'au contraire, dans les rangées cellulaires voisines du liber, il y a des prismes simples.

Si les expériences dont je vais exposer le résultat peuvent prouver l'influence de la nature chimique du milieu sur la forme cristalline, cette différence dans les cristaux éloignés et voisins du liber montre combien la division du travail est peu nette dans les végétaux, et qu'il y a, s'il est permis de s'exprimer ainsi, un passage insensible d'un tissu à un autre, passage qui se traduit souvent par la nature morphologique du tissu, mais qui souvent aussi ne réside que dans le contenu cellulaire. Un exemple du premier cas nous est fourni par le liber mou et le parenchyme fondamental, qui sont très-souvent si mal limités, que les premiers faisceaux libériens paraissent être plongés au milieu de l'enveloppe verte.

Quand on étudie la distribution des cristaux dans les tiges des

Dicotylédonées, on est frappé de la différence qu'il y a entre les cristaux du tissu fondamental et ceux du liber. On voit que dans l'un et dans l'autre de ces organes, et surtout dans le liber, il y a souvent de longues files de cellules contenant des cristaux ; dans le parenchyme fondamental, ces cristaux sont des raphides, des agglomérations ou de gros cristaux simples, mais de formes souvent très-compliquées, irrégulières, ressemblant à des cailloux à arêtes vives. Il n'en est pas de même dans le liber mou : là les cristaux sont plus petits, plus réguliers, plus constants ; je n'y ai jamais rencontré de raphides, mais souvent de petites agglomérations, et surtout des cristaux simples simulant des rhomboèdres ou des cristaux maclés. Je ne connais pas d'exemple de deux ou de plusieurs cristaux dans une même cellule libérienne adulte ; souvent les cloisons qui séparent les cristaux sont très-minces, mais elles deviennent évidentes quand on dissout le cristal en ajoutant de l'acide chlorhydrique à la préparation. C'est ainsi qu'ils paraissent au premier abord accouplés deux à deux dans une même cellule libérienne de l'*Hiræa Houlletiana ;* mais un examen approfondi montre que dans cette plante, contrairement à ce qui arrive généralement, la cellule cambiale, qui doit se diviser en un système de cellules cristalligènes, se divise longitudinalement par des cloisons radiales, excepté à ses deux extrémités, qui sont occupées par des cellules terminées en pointe.

La forme des cristaux libériens est quelquefois tellement constante, qu'elle peut caractériser l'espèce ou même la famille. Ainsi, dans le liber du *Nerium*, nous trouvons des cristaux de forme très-compliquée et tellement caractéristique, qu'un seul cristal peut servir à reconnaître son origine. Cette forme ou des formes analogues se retrouvent jusque dans les Asclépiadées, fournissant ainsi une nouvelle preuve de l'affinité des deux familles.

Les macles du liber des *Ulmus*, sans être aussi compliquées, sont tout aussi caractéristiques.

(1) Meyen, *Neues Syst. d. Pflanzenphysiologie*, 1837, p. 215.

Je n'entreprendrai pas d'énumérer, ni de décrire les formes si variées qu'on rencontre dans les plantes; je renverrai le lecteur au travail de M. Bailey (1), et à celui de M. Sanio, qui a donné une description complète de la forme des cristaux et de leur arrangement dans l'écorce d'un certain nombre de plantes dicotylédonées.

Je n'ai pas besoin de rappeler que les cristaux sont le plus souvent, si ce n'est pas toujours, renfermés dans une masse qui persiste et conserve en creux la forme du cristal, quand on dissout celui-ci dans l'acide chlorhydrique.

A quoi est due la constance de forme de l'oxalate de chaux dans un végétal donné? Payen dit, il est vrai, sans vouloir répondre à cette question, que chaque cristal est entouré d'une masse *qui donne au cristal sa forme* et en reçoit la rigidité. Mais il est impossible d'admettre une telle assertion, en contradiction avec les lois de la cristallisation et avec celles de l'activité cellulaire. Il est au contraire infiniment probable que le sel cristallise dans la cellule absolument comme il cristalliserait dans les mêmes conditions physiques et chimiques dans un vase inerte.

§ 2.

Expériences sur la cristallisation artificielle de l'oxalate de chaux.

M. Holzner est le seul, que je sache, qui ait cherché à produire, dans un but de comparaison, des cristaux d'oxalate de chaux. Mais s'il avait sérieusement en vue de reproduire les formes végétales de ce sel, il faut avouer qu'il s'est servi d'un singulier procédé. Ce procédé consiste à dissoudre l'oxalate de chaux dans l'acide chlorhydrique chaud ; il obtient ainsi le sel cristallisé par refroidissement, en une masse de cristaux agglomérés, quelques cristaux isolés, des prismes rhomboïdaux obliques, et des macles qui rappellent en effet celles de plusieurs végétaux.

Quant au précipité rapide obtenu avec un oxalate soluble et

(1) Voyez la note historique à la fin de ce mémoire.

un sel de chaux, il est déclaré amorphe par les uns, cristallin par les autres; en tout cas, il n'est qu'obscurément cristallin, ou plutôt les cristaux sont extrêmement petits et possèdent des formes arrondies.

Je me suis servi de deux procédés pour obtenir des cristaux appréciables :

1° Je fais arriver dans un verre à pied contenant de l'eau, une dissolution de glycose, de sucre, etc., de l'oxalate de potasse et du chlorure de calcium, à l'aide de deux bandelettes de papier buvard plongeant par l'une de leurs extrémités respectivement dans l'une de ces deux dissolutions. Les sels se rencontrent à un état de dilution extrême dans le milieu liquide, et l'oxalate de chaux cristallise.

Pour certaines expériences, l'un des deux réactifs, le plus souvent l'oxalate de potasse, a été mélangé avec le milieu (eau, glycose, sucre, etc.), et l'autre réactif y a été amené par une bande de papier buvard.

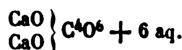
2° Je fermais de petits tubes de verre à l'une des extrémités par du papier-parchemin, et je les disposais deux à deux dans un verre à pied, de manière à les faire plonger de quelques millimètres dans le milieu liquide. Les deux dialyseurs étaient maintenus dans cette position par un petit appareil de fil de fer; dans l'un d'eux je versais de l'oxalate de potasse, dans l'autre du chlorure de calcium : au bout de deux heures, les cristaux se montraient sur les parois du verre.

A la fin de mes expériences, je me suis servi exclusivement de ce dernier procédé qui donne les mêmes résultats que le premier, et qui exige beaucoup moins de temps et surtout ne permet pas aux Champignons de s'établir dans les dissolutions employées comme milieu.

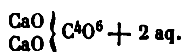
En entreprenant ces expériences, je suis parti de l'idée que la forme du cristal pouvait dépendre de la nature chimique et physique du milieu.

MM. Souchay et Lenssen (dont je n'ai malheureusement pu me procurer le mémoire) ont trouvé que, lorsque la cristal-

lisation s'opère très-lentement, il se forme des cristaux renfermant 6 équivalents d'eau :



et que dans la cristallisation rapide, le sel ne contient que 2 équivalents d'eau :



et appartient au système clinorhombique.

Le plus souvent j'ai obtenu des cristaux octaédriques droits, très-plats (enveloppes de lettres), mélangés avec des cristaux du système clinorhombique. Dans des milieux difficilement pénétrables par les sels, comme le blanc d'œuf, j'ai obtenu de très-gros cristaux octaédriques droits.

Influence de la nature chimique du milieu liquide.

Chaque fois que l'un des réactifs neutres est en grand excès, les formes déterminables sont très-rares, et la grande masse des cristaux est formée par des dendrites ou de petites agglomérations dendritiques, quelle que soit la nature du milieu dans lequel s'opère la cristallisation.

L'expérience réussit admirablement lorsqu'on mélange l'oxalate de potasse avec le milieu et qu'on y fait arriver du chlorure de calcium. Les plumes forment avec la tige un angle de 79 degrés, angle qui est supplémentaire de 101 degrés, chiffre donné par M. Holzner pour l'inclinaison des faces terminales du prisme oblique sur l'axe.

Plus de cinquante expériences faites dans des conditions différentes et en intervertissant les réactifs m'ont donné un résultat invariable.

Je ne connais pas un seul exemple de dendrites dans les plantes, et cette circonstance semble répondre à la question posée par M. Hilgers (1) : Est-ce que l'acide oxalique préexiste

(1) *Jahrb. für wiss. Bot.*, VI.

et donne de l'oxalate de chaux à mesure qu'arrivent les sels calcaires ?

D'après mes expériences, l'acide oxalique, à l'état d'oxalate soluble, ne préexisterait pas dans les cellules destinées à engendrer des cristaux ; mais il y arriverait, et y serait sécrété à mesure que les sels calcaires eux-mêmes y arrivent ou y sont sécrétés, et cela dans des proportions qui ne diffèrent pas beaucoup des proportions exigées par les lois de la chimie. En d'autres termes, il faut considérer le travail qui s'opère dans les cellules cristalligènes comme une *sécrétion d'oxalate de chaux*, et non pas comme une rencontre des deux réactifs. Ceci entraînerait *la solubilité* de l'oxalate de chaux dans le milieu ambiant, dans cette matière azotée, protoplasmique, que Payen désigne sous le nom de « tissu léger ». M. Dehérain (1) a décrit un phénomène du même ordre relatif au phosphate de chaux. En effet, dans le jus de pomme de terre, la chaux et l'acide phosphorique restent en dissolution tant que la matière albuminoïde est soluble ; mais si l'on coagule celle-ci par la chaleur, une grande partie du phosphate de chaux se précipite. Si on lave la matière albuminoïde jusqu'à ce qu'elle ne cède plus rien à l'eau, puis qu'on la calcine, on trouve des cendres à peu près exclusivement composées de phosphate de chaux.

Je ne me dissimule pas qu'une combinaison d'un phosphate avec une matière albuminoïde est infiniment plus probable que celle d'un oxalate avec la même matière ; mais un autre fait parle en faveur de ma supposition.

L'oxalate de chaux reste souvent en dissolution dans l'urine et ne cristallise que quelques heures après l'émission (2).

Je pense donc que le protoplasma peut tenir en dissolution l'oxalate de chaux tout préparé, et qu'il le dépose au milieu du suc cellulaire, où il prend la forme exigée par les conditions chimiques et physiques de ce suc. Cela n'empêche nullement qu'il y ait de l'acide oxalique dans les cellules parenchymateuses environnantes.

(1) Dehérain, *Cours de chimie agricole*, 1873, p. 83.

(2) Pelouze et Fremy, *Traité de chimie*, t. II, p. 153.

Toutefois mes expériences ont montré qu'en présence d'un grand excès d'un acide végétal libre (acide oxalique, citrique, tannique), il se forme des cristaux simples, même quand l'oxalate ou le sel de chaux est en grand excès. Le raisonnement qui précède ne s'applique donc qu'au cas d'un suc cellulaire privé de ces acides.

Dans d'autres séries d'expériences, j'ai versé dans les petits dialyseurs des liqueurs filtrées contenant respectivement pour 100 grammes d'eau 10 grammes de chlorure de calcium et 17 grammes d'oxalate de potasse, ou 20 grammes de chlorure et 34 grammes d'oxalate, proportions telles qu'il ne doit pas rester un excès notable de chlorure de calcium ou d'oxalate de potasse.

Toutes ces expériences ont été faites sensiblement à la même température d'environ + 8 degrés centigrades.

Voici, en résumé, les résultats obtenus de cette manière :

1. Le milieu étant de l'eau distillée.

a. Une grande quantité d'agglomérations réunies autour d'un centre; les éléments de ces agglomérations sont pointus, irréguliers, indéterminables.

b. Cristaux à faces planes elliptiques, dérivant probablement d'un hexagone à angles arrondis; la face latérale porte une pyramide quadrangulaire; les bords supérieur et inférieur présentent souvent un ou deux sillons, de sorte que le cristal paraît être composé.

c. Prisme hexagonal oblique provenant d'un prisme rhomboïdal oblique modifié sur deux arêtes longitudinales (forme commune dans les végétaux).

d. Deux troncs de pyramide hexagonale, accolés par leurs petites faces terminales.

e. Octaèdre carré très-plat, dit enveloppe de lettre (forme fréquente dans les végétaux, et en particulier dans la tige des *Peperonia*, l'ovule de *Calendula*, etc.).

f. Forme ressemblant à cet octaèdre, mais ayant les faces un

peu creuses marquées d'un sillon qui va du milieu du côté de la base au sommet de l'octaèdre.

g. Étoile à quatre branches se coupant à angle droit et portant des barbes obliques. Ces branches sont rectilignes ou courbes.

h. Grand prisme oblique à base parallélogramme, quelquefois rhombe.

Les variations observées dans différentes expériences faites dans les mêmes conditions consistent dans l'abondance plus ou moins grande de l'une ou de l'autre de ces formes; les octaèdres carrés, les étoiles carrées sont souvent très-rares.

2. Le milieu étant de l'eau contenant du fer et surtout beaucoup de plâtre.

a. Agglomérations à éléments arrondis, irréguliers, indéterminables.

b. Cristaux elliptiques allongés, à faces latérales octaédriques. Chacune des quatre faces de ce pointement octaédrique latéral porte souvent un sillon allant du milieu du côté de la base au sommet, de sorte que le profil du cristal présente quatre angles aigus saillants et quatre angles obtus rentrants.

c. Cristal elliptique avec des faces latérales en forme de biscuit. Ce cristal est évidemment très-voisin du précédent et correspond ainsi aux cristaux en forme de sablier de Golding Bird, qu'on trouve quelquefois dans les dépôts urinaires.

d. Petits cristaux composés, arrondis, en forme d'os.

e. Étoiles à quatre branches ayant souvent pour centre un autre cristal (octaèdre) à barbes formant avec l'axe un angle d'environ 101 degrés. Quelquefois étoiles à huit branches.

f. Macles en forme de croix oblique.

Les cristaux elliptiques (*b*) sont extrêmement constants et diffèrent toujours des cristaux analogues obtenus dans l'eau distillée (*b*) par leur forme allongée et étroite.

Les agglomérations arrondies sont également très-caractéris-

tiques et faciles à distinguer des agglomérations à arêtes vives qui se forment dans l'eau distillée.

3. Le milieu étant une dissolution de sucre de canne à 5 pour 100.

a. Presque tous les cristaux appartiennent à une forme particulière, à faces hexagonales allongées, se rapprochant d'une ellipse par l'arrondissement des angles. Quand on l'observe de côté, on voit que le cristal est composé; il est creusé de quatre sillons qui se réunissent deux à deux aux extrémités du cristal, de telle sorte que la coupe parallèle à la base et passant par le milieu de la hauteur donnerait un rhombe.

b. Quelques enveloppes de lettres ou des étoiles octaédriques à quatre branches et à angles rentrants.

4. Le milieu étant une dissolution de dextrine à 2 pour 100.

a. Mêmes cristaux que dans le sucre de canne.

b. Étoiles octaédriques carrées.

c. Aiguilles semblables aux raphides et appartenant au système oblique.

5. Le milieu étant une dissolution de glycose à 5 pour 100.

a. Raphides.

b. Quelques dendrites (sans doute parce que la glycose n'était pas exempte de chaux).

c. Quelques étoiles octaédriques carrées.

6. Le milieu étant acide (acide tannique, acide citrique, acide oxalique).

a. Gros cristaux irréguliers à arêtes vives.

b. Gros prismes obliques simulant des rhomboèdres.

c. Cristaux hexagonaux ou presque rhombiques, ressemblant beaucoup aux cristaux hexagonaux décrits en *a*, n° 3, de forme compliquée, difficile à décrire.

Un sel de chaux amené par capillarité dans de l'acide oxalique mélangé avec n'importe quelle substance donne la même forme avec une constance remarquable.

J'ai donc pu reproduire de cette manière un certain nombre de formes de l'oxalate de chaux qu'on trouve dans les végétaux, et entre autres les raphides qui se forment en présence de la glycose et souvent en présence de la dextrine, et de gros cristaux irréguliers à arêtes vives, ainsi que les prismes simples obliques qui se forment dans les acides.

Les nouvelles expériences que je me propose d'entreprendre à des températures différentes, bien déterminées et dans des conditions aussi semblables que possible à celles qui se présentent dans les tissus végétaux, me conduiront, je l'espère, à des résultats intéressants pour la physiologie végétale.

NOTE HISTORIQUE

SUR LES CRISTAUX CONTENUS DANS LES PLANTES.

La présence de cristaux dans les tissus des plantes est connue depuis longtemps.

Malpighi (Op. omnia, Ludg. Bat., 1687, p. 52) a observé le premier les agglomérations cristallines.

Leeuwenhoeck (Epist. physiol., Delphii, 1719, et Arcan. nat., epist., 70, Ludg. Batav., 1722) connaissait plusieurs formes de cristaux, entre autres les aiguilles.

Scheele fit, sans le savoir, l'analyse de ce sel cristallisé en étudiant la *terre de rhubarbe* dans laquelle il trouva de l'oxalate de chaux.

Rafn (Entwurf einer Pflanzenphysiol., 1798, p. 88) décrit des aiguilles cristallines trouvées dans le latex des Euphorbes.

Jurine (Recherches sur l'organisation des feuilles, in Journ. de phys., de chim. et d'hist. nat., vol. LVI, 1802) décrit les aiguilles dans un certain nombre de plantes, et les grands prismes qui se trouvent à côté des aiguilles dans le parenchyme des *Agave;* mais il rapproche de ces formations cristallines les cellules rameuses bien connues du *Nymphæa*.

Link (Grundlehren d. Anat. und Phys. d. Pflanzen, 1807, p. 87) constate

que ces cristaux sont insolubles dans l'eau, l'alcool et les alcalis, et qu'ils sont solubles dans l'acide azotique.

Rudolphi (Anat. d. Pflanzen, Berlin, 1807) confirme ces faits ; mais

Sprengel (Von dem Baue und d. Natur der Gewächse, Halle, 1812, p. 229) prend les aiguilles pour du sucre cristallisé.

Kieser (Mém. sur l'organisat. des Pl., Harlem, 1814) décrit, sous le nom de *corps rectilignes*, les raphides dans un grand nombre de plantes.

Alph. de Candolle (Mém. de la Soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève, t. III, 2e part., 1826) décrit les aiguilles, et leur donne le nom de *raphides* pour ne pas préjuger leur nature ni leurs fonctions.

Aug. Pyr. de Candolle (Organogr. végétale, Paris, 1827) reproduit cette opinion, mais il n'est pas éloigné de prendre les raphides pour des cristaux.

Raspail (Mém. de la Soc. d'hist. nat. de Paris, t. IV, 1827) est le premier qui ait fait directement l'analyse des cristaux des végétaux. D'après lui, ceux des *Pandanus*, d'*Iris florentina* et *germanica* sont de l'oxalate de chaux. En 1828, il reconnaît qu'il s'est trompé à l'égard des cristaux des *Pandanus*, qui consistent, ainsi que ceux de beaucoup d'autres plantes, en phosphate de chaux. Pour l'oxalate, il ne cite que les cristaux de *Rheum* et d'*Iris*.

Meyen (Anat. und physiol. Untersuchungen über d. Inhalt der Pflanzenzelle, Berlin, 1828, p. 59) énumère un grand nombre de formes cristallines. Cet auteur ainsi qu'*Unger* (Exantheme d. Pflanzen, 1833), et M. *Brongniart* en 1834 (Note sur le *Colocasia odora*), constatent que les cristaux se trouvent dans les cellules mêmes et non dans les méats intercellulaires, comme *Treviranus* (Physiol. d. Gewächse, Bonn, 1835) l'admettait encore pour les raphides du *Cypripedium insigne* et *Neottia discolor*.

Nees von Esenbeck (Repert. für d. Pharmacie, von docteur Buchner, 1832, vol. XLII, p. 91) prétend que les cristaux de *radix Mechoacannæ* sont du phosphate de chaux et de magnésie; sel qu'il retrouve plus tard, en 1835 (Flora, n° 26), sous forme de cristaux, dans les racines de plusieurs espèces de *Mirabilis*.

Turpin (Ann. des sc. nat., 2e série, t. IV, 1836) décrit sous le nom de *biforines* les cellules à raphides de *Caladium*, se déchargeant par endosmose.

Raffeneau-Delile (Bull. Soc. agricult. de l'Hérault, juin 1836) fait connaître les cristaux mêlés aux grains de pollen du *Caladium bicolor*, ainsi que les *biforines* dans les fleurs de certaines Aroïdées.

Lindley (An Introduction to Botany, London, 1848) considère, comme Turpin, les agglomérations des Cactées comme étant composées de prismes droits carrés surmontés de pyramides carrées.

Unger (Annal. d. Wiener Museums, 1840, Bd. II) décrit en peu de mots les cristaux simples et composés; il croit que la base en est la chaux, et que l'acide peut être l'acide tartrique (Cactées), oxalique, carbonique ou sulfurique (Scitaminées).

Payen (Cinquième Mémoire sur le développement des végétaux, Mém. des savants étrangers, 1846, p. 77) étudie d'une manière approfondie les cystolithes découverts par Meyen. Il décrit l'oxalate de chaux dans les feuilles sous forme d'agglomérations cristallines, de rhomboèdres (non réguliers). Il montre que ces cristaux sont entourés d'un tissu léger qui persiste après la dissolution des cristaux dans l'acide azotique ou chlorhydrique affaibli. Il fait remarquer la distribution régulière de ce sel dans les végétaux : « Ce sel, dit-il, si abondamment répandu dans l'organisme végétal, se distribue régulièrement en certaines parties et affecte parfois des formes singulières et une contexture remarquable. » Il fait allusion aux masses cristallines considérables qu'on trouve souvent dans les Cactées. Il croit que les raphides sont entourés chacun d'une membrane qui donne au sel sa forme et en reçoit la rigidité.

Bailey (American Journal of Science and Arts, 1845, vol. XLVII, p. 17) décrit un grand nombre de formes cristallines d'oxalate de chaux du système clinorhombique; il donne de longues listes de végétaux présentant diverses formes.

E. E. Schmid (Ann. d. Chemie und Pharmacie, 1856, Bd. XCVII, p. 225) trouve que l'oxalate de chaux cristallise en deux systèmes différents.

Souchay et *Lenssen* (Ann. d. Chem. und Pharm., Bd. C, p. 311) indiquent dans quel cas se forment les cristaux de l'un et de l'autre système : dans la cristallisation très-lente, il se forme des cristaux du premier système avec équivalents d'eau; dans la cristallisation rapide, des cristaux du système clinorhombique avec 2 équivalents d'eau.

M. Sanio (Monatsb. der k. Akad. d. Wissenschaften, Berlin, 1857) qui, avec Meyen et Schacht, avait pris jusque-là les rhomboèdres pour du carbonate de chaux, déclare que ces cristaux sont des prismes obliques à base rhombe et qu'ils sont formés par de l'oxalate de chaux. Il applique à la botanique les résultats obtenus par Schmid, Souchay et Lenssen. Enfin il décrit la disposition des cristaux dans un certain nombre de végétaux.

M. G. Holzner (Ueber die Krystalle in den Pflanzenzellen, Flora, 1864

p. 273) confirme l'opinion de M. Sanio relativement au prétendu rhomboèdre qu'on rencontre si fréquemment dans les végétaux, en s'appuyant sur les modifications que présente cette forme cristalline dans les *Cycas*, les *Cratægus*, etc. Il ramène un grand nombre d'autres formes au même système, entre autres celles du *Guajacum* et du *Quillaja* qu'on avait jusque-là considérées comme du gypse (voy. *Flückiger*, Schweiz Wochenschrift für Pharmacie, Bd. I, 1862, et *Berg*, Archiv d. Pharmacie, II, Bd. XCIX, 1859), les hémitropies de *Musa paradisiaca* et celles de *Cratægus*, *Citrus*, *Pirus*, *Strychnos*.

Il admet, en résumant ses mesures faites d'après des cristaux pris dans les végétaux, sur la *whewellite* (oxalate de chaux cristallisé appartenant au règne minéral), et sur les cristaux artificiels obtenus par refroidissement d'une dissolution d'oxalate de chaux dans l'acide chlorhydrique, que tous ces cristaux appartiennent à une même série cristalline, dont la forme principale serait un hendisoèdre dont les faces prismatiques comprennent un angle de 74° 5′, et les faces terminales et latérales un angle de 101° 41′. L'angle aigu de la face terminale est de 71° 29′.

M. Hilgers (Ueber das Auftreten der Krystalle v. oxalsauren Kalk, etc., Jahrb. für wiss. Bot., VI) étudie la formation des cristaux en les comptant dans les entrenœuds successifs de haut en bas. Il fait ensuite des réflexions sur la préexistence de l'acide oxalique dans les tissus de la plante.

DEUXIÈME NOTE

SUR LES GONIDIES DES LICHENS

Par M. Ed. BORNET.

Dans un mémoire précédent (1), j'ai cherché à démontrer que l'hypha des Lichens ne donne point naissance aux gonidies, mais qu'il se fixe sur des productions indépendantes et préexistantes qui ne se distinguent point de certaines Algues. Je voudrais ajouter aujourd'hui quelques preuves nouvelles à celles que j'ai données, et indiquer en outre les raisons qui ne permettent pas de regarder ces Algues comme n'étant que des états imparfaits des Lichens.

Je parlerai d'abord des cas où j'ai vu les gonidies revenir à l'état d'Algues et reproduire la plante dont elles proviennent. Ces cas sont doublement intéressants, d'abord parce qu'ils donnent une démonstration directe et irrécusable de l'identité des deux corps, et ensuite parce qu'ils permettent d'apprécier les déformations produites par l'envahissement de l'hypha.

Les gonidies des *Opegrapha* sont fournies par des filaments de *Trentepohlia* (*Chroolepus* Auct.). Or, j'ai trouvé de vieux thalles d'*Opegrapha varia* Pers., où ces filaments avaient repris çà et là leur structure normale. Ils s'étaient allongés, redressés, et avaient produit les sporanges propres au genre *Trentepohlia*. Beaucoup de ces sporanges étaient vides et présentaient l'ostiole légèrement saillant par lequel les zoospores s'étaient échappées. Les zoospores elles-mêmes nageaient encore en abondance dans l'eau qui baignait la préparation. La continuité des filaments fructifères avec ceux qui servaient de gonidies à l'*Opegrapha* était parfaitement évidente, et plusieurs de leurs articles étaient complétement entourés par l'hypha, qui atteignait même quelques sporanges vides.

Dans le *Pannaria triptophylla* Nyl. var. *nigra*, il n'est pas

(1) *Annales des sciences naturelles*, BOTANIQUE, 5e série, t. XVII, p. 45.

rare de trouver des tubercules du thalle qui ont une déchirure à leur sommet ou sur le côté. De cette déchirure sortent des filaments, qui sont évidemment la prolongation des amas de gonidies bleuâtres renfermées dans le thalle de cette espèce. Quelquefois le filament est simple ou replié en forme d'anse. D'autres fois il sort tout un faisceau de filaments, les uns nus, les autres revêtus d'une gaîne plus ou moins teintée de jaune. Tantôt ils se continuent avec les gonidies intérieures; tantôt ils se rompent en fragments qui se répandent dans l'eau de la préparation, ou forment, à l'orifice de la déchirure, de petits amas semblables à ceux qu'on trouve souvent entre les filaments des *Scytonema*, *Calothrix*, etc. Ces observations m'ont prouvé que les deux sortes de gonidies, si différentes d'aspect, que renferme le *Pannaria triptophylla*, ne sont que deux états d'une même Algue, à peine modifiée dans les gonidies filamenteuses, tout à fait déformée et presque méconnaissable dans les gonidies sphériques. La même particularité se montre aussi très-clairement dans ces tubercules incomplétement développés dont j'ai parlé dans mon précédent mémoire (1). On voit des faisceaux droits et parallèles que l'hypha ne recouvre pas entièrement, devenir graduellement flexueux et irréguliers, et se changer en gonidies ordinaires dans la partie inférieure où le Lichen est tout à fait formé. — L'Algue envahie par l'hypha de cette espèce est le *Scytonema Kutzingianum* Næg. C'est une plante commune dont les filaments verts sortent facilement de leurs gaines, et qu'on rencontre fréquemment sous cette forme, en petits amas ou en fragments isolés.

On sait que, dans certaines circonstances, la surface et les bords du thalle des *Collema* se couvrent d'une multitude de petits grains ronds, provenant de l'extension et du développement au dehors d'un repli des filaments gonidiaux. Ordinairement l'hypha pénètre dans cette excroissance en même temps qu'elle se forme, de sorte que les petits grains encore microscopiques possèdent déjà les deux éléments du Lichen. Mais il arrive parfois,

(1) *Loc. cit.*, p. 88.

comme l'a observé M. de Bary (1), qu'ils sont entièrement dépourvus d'hypha. Ce sont alors de purs *Nostoc*, qui ne diffèrent en rien des petits individus que l'on trouve entre les brins de Mousses. Presque toujours dans ce cas le jeune Nostoc, lié au *Collema* par un simple pédicelle gélatineux, s'en détache assez promptement; mais il peut aussi se développer sur place. Car j'ai trouvé un *Collema pulposum* auquel adhéraient par un isthme étroit deux lobes complétement dépourvus d'hypha, ayant un demi-centimètre de diamètre et présentant tout à fait l'aspect d'un *Nostoc commune* de même âge.

Comme contre-partie à cette dissociation spontanée des éléments des *Collema*, je citerai l'exemple d'un *Nostoc commune* large d'un centimètre, envahi par de gros faisceaux de rhizines d'un *Collema* placé tout à côté de lui. Les deux plantes se touchaient de si près, que j'ai pu les couper du même coup, et faire des tranches sur lesquelles on suivait les rhizines depuis leur sortie du *Collema* jusqu'à leur pénétration dans le *Nostoc*, où elles s'épanouissaient en se ramifiant.

M. de Bary a remarqué qu'on trouve des rameaux entiers d'*Ephebe pubescens* qui sont tout à fait dépourvus d'hypha (2). J'ai fait la même observation sur le *Lichenosphœria Lenormandi* et le *Spilonema paradoxum*. Ces rameaux ne se distinguent en rien de l'Algue même que l'on rencontre à côté du Lichen et sur les mêmes rochers. Dans le *Spilonema*, les filaments épais, rugueux, opaques, souvent tachés de bleu, qui constituent le thalle du Lichen, présentent un contraste frappant avec les filaments grêles, lisses, transparents, d'un jaune clair uniforme qui en sortent et qui ne contiennent pas d'hypha.

Il n'est pas douteux que les gonidies des *Lichina* soient formées par les filaments de quelque Rivulariée. De nouvelles observations sur ces plantes m'ont fait voir l'envahissement des filaments verts par l'hypha, et j'ai rencontré à plusieurs reprises, dans le tissu du thalle, des filaments à peine déformés, encore revêtus de leur gaîne. Mais peut-être n'est-ce pas la

(1) *Handbuch der physiologischen Botanik*, zweiter Band, erste Abtheilung, p. 290.
(2) *Handbuch*, etc., p. 291.

même espèce d'Algue qui fournit les gonidies des deux *Lichina*. Le *Lichina confinis* Ag. croît sur les rochers que la mer n'atteint qu'aux grandes marées. A cette hauteur on ne trouve guère que les *Calothrix pulvinata* Ag. et *scopulorum* Ag. Le *Lichina pygmæa* Ag. a une station plus rapprochée du niveau moyen de la marée, et il est souvent mêlé non-seulement à divers *Calothrix*, mais aux *Rivularia atra* Roth et *bullata* Berk., auxquels il sert quelquefois de support. Je dois dire d'ailleurs qu'il est à peu près impossible de reconnaître avec certitude à quelle espèce appartiennent des filaments isolés de *Calothrix* ou de *Rivularia*. La difficulté est d'autant plus grande ici, que ce ne sont pas des individus complets et de végétation vigoureuse que l'hypha transforme en gonidies, mais seulement les filaments peu développés qui végètent pauvrement dans les interstices des rochers ou dans les fentes des bois.

L'identité des gonidies avec certaines Algues inférieures ne saurait, sans doute, être contestée par un observateur familier avec l'étude de ces dernières. Mais peut-on l'expliquer en supposant que ces Algues sont des êtres incomplets, ne représentant qu'un des éléments du tissu des Lichens? C'est là une hypothèse que le progrès des études algologiques ne permet plus, je crois, de soutenir aujourd'hui. Car il est certain que ces mêmes Algues ne se multiplient pas seulement par division, mais qu'elles ont aussi leur fructification particulière, qui n'a aucun rapport avec celle des Lichens. Je vais passer en revue les principaux genres qui servent de gonidies, et montrer qu'ils se rattachent incontestablement aux Algues par leur mode de reproduction.

Examinons d'abord ceux qui contiennent de la chlorophylle.

La reproduction par zoospores a été constatée par MM. Famintzin et Baranetzky dans le *Cystococcus humicola* extrait du thalle de diverses espèces de Lichens. De mon côté, j'ai vu, comme je l'ai dit plus haut, l'émission des zoospores dans le *Trentepohlia* qui fournit les gonidies de l'*Opegrapha varia*. Ce mode de reproduction est général dans le vaste groupe d'Algues

dont ces deux genres font partie, et qui a été longtemps désigné spécialement sous le nom de Zoosporées.

Le genre *Phyllactidium*, qui forme l'élément gonidial de l'*Opegrapha filicina* Montg., ne diffère point, selon M. Pringsheim (1), du genre *Coleochæte*. Or, ce dernier, plus élevé en organisation que les précédents, a non-seulement des zoospores, mais des oogones et des anthéridies.

Dans le groupe d'Algues inférieures où la matière colorante est formée par de la phycochrome (Cryptophycées, Thur.; Phycochromophycées, Rabenh.), il n'y a point de zoospores; mais ces plantes ont aussi leurs modes de reproduction particuliers. Elles comprennent deux tribus principales, les Chroococcacées et les Nostochinées. A la première appartiennent les *Glœocapsa Magma*, *rupestris*, *stegophila*, qui concourent à la formation de diverses espèces de *Synalissa*, et dans lesquels j'ai trouvé des spores bien caractérisées (2). Quant aux Nostochinées, elles se multiplient de deux manières, par spores ou par des tronçons de filaments. Les spores sont connues depuis longtemps dans quelques genres (*Anabaina*, *Cylindrospermum*, *Gloiotrichia*) qui ne fournissent point de gonidies aux Lichens. Mais des recherches encore inédites que nous avons faites, M. Thuret et moi, sur diverses Nostochinées, nous ont appris qu'il existe aussi des spores dans les *Nostoc*. Nous les avons observées dans sept espèces, savoir : *Nostoc vesicarium* DC., *N. Muscorum* Ag., *N. tenax* Thur. mss., *N. verrucosum* Vauch., *N. ellipsosporum* Desmaz., *N. gelatinosum* Schousboe mss., *N. intricatum* Menegh. Nous avons vu la germination dans les trois premières espèces. Ces spores des *Nostoc* sont tout à fait semblables à celles des *Anabaina*, et se forment de même. Les cellules des chapelets grossissent, se recouvrent d'une membrane épaisse, souvent teintée de jaune, quelquefois un peu verruqueuse (*N. gelatinosum*). Plus tard cette membrane s'ouvre pour livrer passage à un petit corps ovale, qui se divise et s'allonge bientôt en un filament de *Nostoc*. — L'autre mode de multiplication des *Nostoc* consiste,

(1) *Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik*, zweiter Band, 1860, p. 30 et 31.
(2) *Loc. cit.*, pl. 16, fig. 3.

comme on sait, dans la division des chapelets en fragments qui, doués d'un mouvement de reptation comparable à celui des Oscillaires, se répandent dans l'eau et ne tardent pas à reproduire la plante. Nous avons retrouvé, M. Thuret et moi, un mode de reproduction analogue dans les *Scytonema*, les *Calothrix* et les *Rivularia*. Ce n'est pas ici le lieu d'exposer en détail ces observations, que nous comptons publier ailleurs. Je me bornerai à dire que la partie colorée des filaments renfermée dans la gaîne se partage en tronçons qui, doués aussi à cette époque d'un mouvement propre, s'échappent par le sommet de la gaîne et se répandent dans le liquide ambiant. Bientôt ils se revêtent d'une gaîne nouvelle et donnent naissance à de nouveaux individus.

Prétendre que des plantes qui possèdent ces modes variés et caractéristiques de reproduction ne sont que des parties élémentaires de végétaux appartenant à une famille toute différente, c'est assurément hasarder une hypothèse fort invraisemblable, et pour peu que l'on réfléchisse aux conséquences étranges qu'elle entraîne, on reconnaîtra qu'elle soulève des difficultés bien plus graves que la théorie du parasitisme proposée par M. Schwendener.

On acquiert de nouvelles preuves de l'indépendance originelle des gonidies et de l'hypha, quand on cultive à part, soit des gonidies, soit des spores de Lichens. J'ai conservé pendant plus d'un an le *Cystococcus* extrait du thalle de l'*Endocarpon miniatum*. Il s'est multiplié en immense quantité, mais il n'a produit aucune trace d'hypha. Le semis de spores de Lichens fournit la contre-partie de cette expérience. Ces spores germent facilement et l'hypha se développe avec abondance, mais il ne naît pas de gonidies.

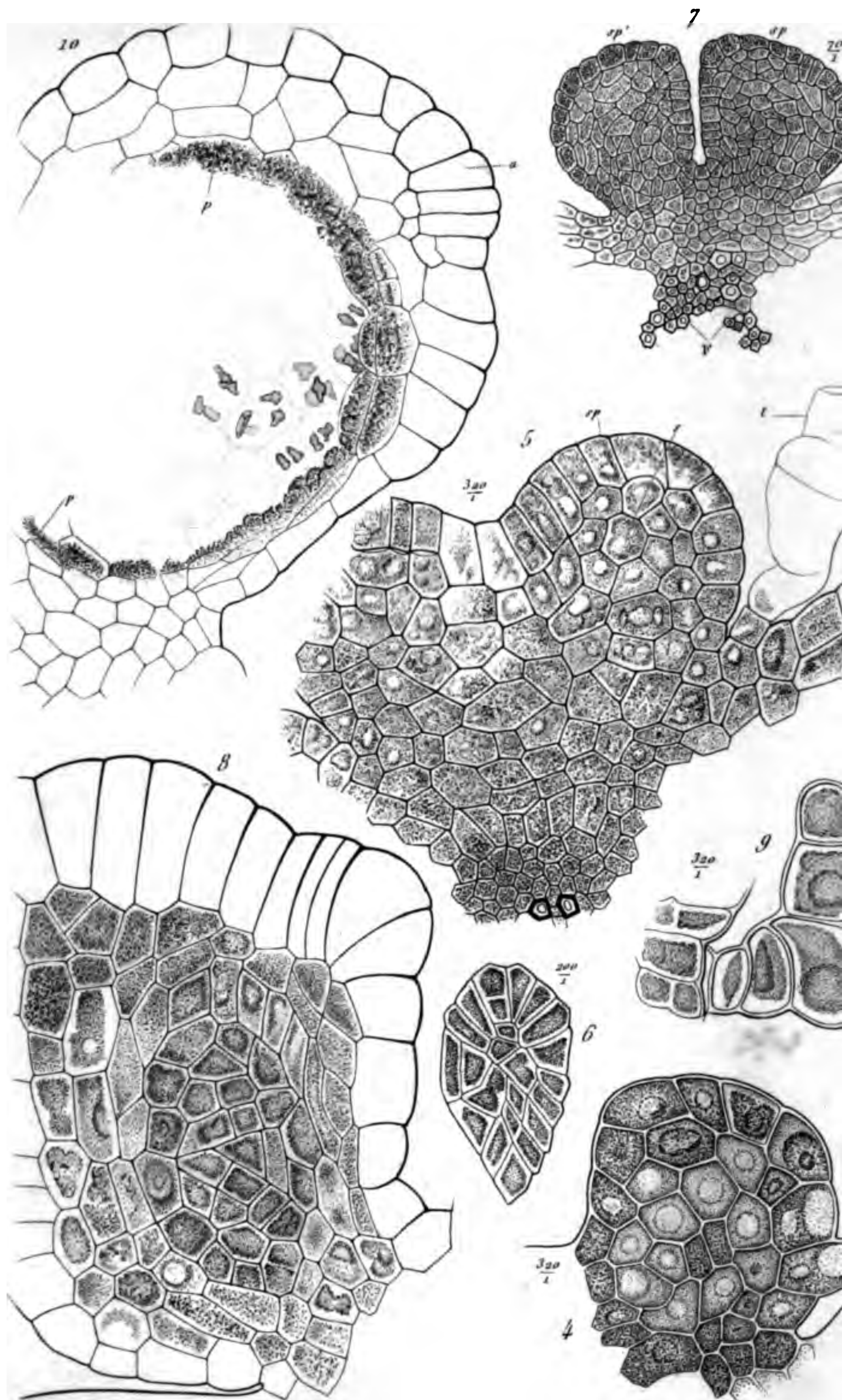
Ce n'est qu'en mélangeant aux spores l'Algue dont le Lichen a besoin pour se développer, qu'on peut s'expliquer l'origine des gonidies. Alors l'hypha issu des spores de *Collema* ne tarde pas à pénétrer dans la gelée des *Nostoc;* celui des Lichens qui vivent aux dépens du *Cystococcus* s'attache aux cellules de cette Algue,

exactement comme on le trouve dans les thalles adultes, et le gonflement des filaments autour des points touchés, les nombreux ramules qui se forment à la suite, sont des signes frappants de l'influence qu'exerce le contact de l'Algue sur le développement de l'hypha.

Au moment où je termine ces pages, je reçois la note que M. Treub vient de publier sur le même sujet (1). Ses recherches lui ont donné des résultats absolument conformes à ceux que j'ai exposés dans mon premier travail. Pas plus que moi M. Treub n'a pu voir les gonidies naître de l'hypha, ni sur les filaments qui sortent des spores, ni dans le thalle déjà formé. Et pourtant quand on considère le nombre prodigieux de gonidies que renferme le thalle de certains Lichens foliacés, il semblerait que, si ces corps se formaient aux dépens de l'hypha, il ne devrait pas être si difficile de le constater par l'observation directe.

M. Treub a réusssi, par une meilleure méthode de culture, à conduire ses expériences plus loin que je ne l'avais fait. Il n'a pu cependant arriver jusqu'à la formation d'un thalle complet de Lichen. Mais je ne saurais, pour ma part, attacher beaucoup d'importance à obtenir ce résultat, qui me paraît sans intérêt dans cette question. Ce qu'il s'agit de constater, c'est le parasitisme de l'hypha, et c'est par la manière dont il se fixe aux gonidies qu'on le démontre. Un développement plus avancé du thalle ne prouverait rien de plus. D'ailleurs si l'on tient à suivre l'évolution du thalle jusqu'à sa dernière période, on trouvera facilement dans la nature de quoi suppléer sur ce point à l'insuffisance des cultures artificielles. Rien n'est plus commun que d'observer autour des Lichens adultes tous les états intermédiaires, depuis les thalles complétement développés jusqu'aux petites masses entourées d'hypha qui en sont le premier âge, et qui ne diffèrent en rien de celles que donne au bout de quelque temps un mélange de spores et de gonidies.

(1) *Lichenencultur*, in *Botanische Zeitung*, 1873, n° 46, p. 721, pl. 8 A.

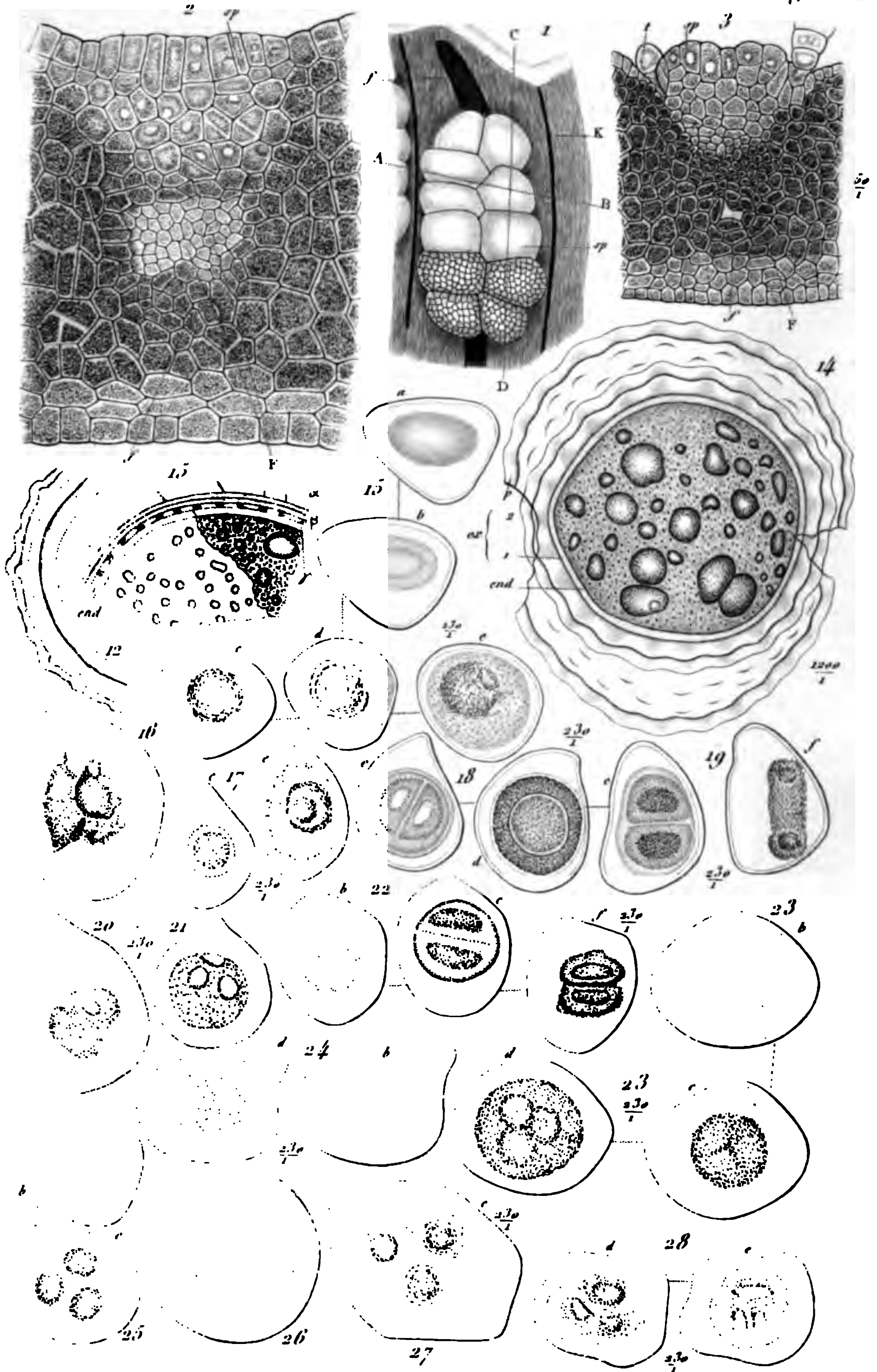


Ad. nat. auct. del.

Pierr

Spores de l'Angiopteris longifolia.

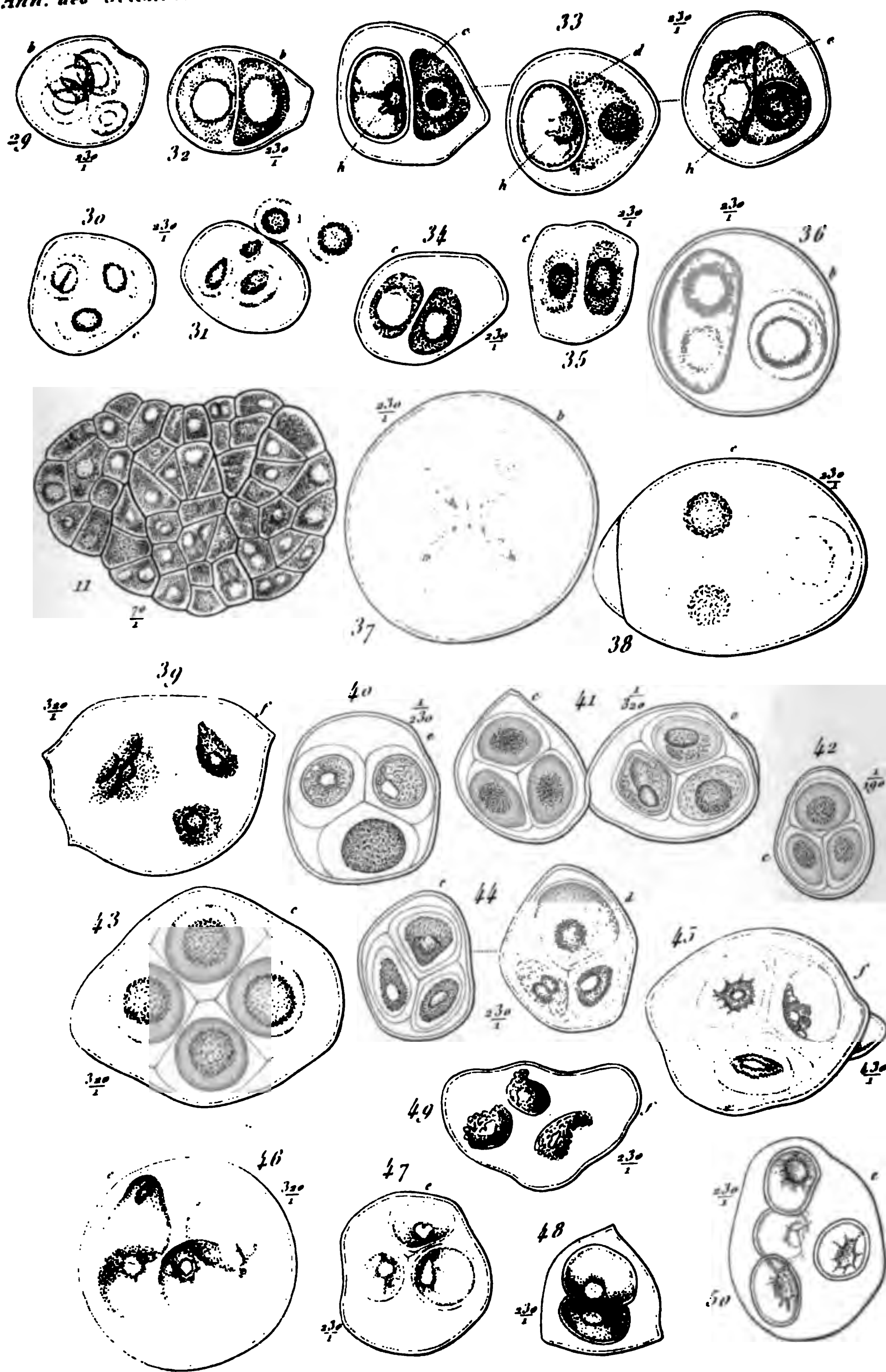
Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.



Ad nat. auct. del. Pierre sc.

Spores de l'Angiopteris longifolia.

Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15 Paris.



Ad nat. auct. del.

Pierre

Spores de l'Angiopteris longifolia.

Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade. 15 Paris.

RECHERCHES

SUR

L'ABSORPTION D'OXYGÈNE ET L'ÉMISSION D'ACIDE CARBONIQUE

PAR LES PLANTES MAINTENUES DANS L'OBSCURITÉ,

PAR MM.

P. P. DEHÉRAIN,
Aide-naturaliste de culture au Muséum d'histoire naturelle.

et

H. MOISSAN,
Attaché au laboratoire de culture du Muséum d'histoire naturelle.

PREMIÈRE PARTIE

RESPIRATION DES FEUILLES.

Les naturalistes distinguent aujourd'hui dans les végétaux deux fonctions complétement différentes dans leurs manifestations extérieures, bien que tendant au même but, l'accroissement de la plante et la formation d'organes destinés à la reproduire.

Tandis que les fonctions de nutrition, comprenant la décomposition de l'acide carbonique et de l'eau, l'assimilation des matières azotées et des principes minéraux, ont été l'objet de travaux nombreux et variés, les fonctions de respiration, qui se manifestent par l'absorption d'oxygène et l'émission d'acide carbonique, n'ont encore été qu'incomplétement étudiées.

Sans doute Th. de Saussure, avec sa sagacité habituelle, a mis hors de doute le fait même de l'émission d'acide carbonique par les feuilles et de l'absorption d'oxygène, déjà entrevu par Priestley et Ingenhousz ; il a même montré que les deux actions n'étaient pas absolument liées l'une à l'autre, et que certaines plantes grasses, telles que l'*Opuntia*, pouvaient absorber

de l'oxygène sans émettre du même coup une quantité correspondante d'acide carbonique. Sans doute, depuis, M. Garreau (1), en 1851, a publié deux mémoires importants sur les phénomènes de respiration. Mais, malgré ces travaux et ceux qui ont paru depuis peu en Allemagne et en France, et qui ont été insérés récemment dans ce recueil même (2), on ne saurait considérer la question comme épuisée (3).

§ 1.

But des recherches entreprises.

En reprenant l'étude de la respiration des végétaux, nous avons eu pour but de connaître d'abord quelle était l'importance de ce phénomène; c'est-à-dire quelle était la quantité d'acide carbonique produite par un poids déterminé de feuilles dans un temps connu.

Il était naturel de comparer cette production d'acide carbonique par les végétaux à celle que donnent les animaux inférieurs, et de voir si les deux règnes, qui dévoilent dans l'ensemble de leurs fonctions tant de points de ressemblance, ne présenteraient pas dans la fonction vitale par excellence, la respiration, une analogie plus ou moins lointaine.

Nous avons encore recherché, dans la première partie de ce travail, l'influence qu'exerce sur cette fonction l'espèce à laquelle appartenaient les feuilles en expérience, leur état de santé, enfin la température à laquelle elles étaient soumises.

Dans la seconde, nous avons voulu non-seulement déterminer la quantité d'acide carbonique obtenue, mais aussi chercher le

(1) *Ann. sc. nat.*, Bot., 3e série, vol. XV, p. 5, et vol. XVI, p. 271.

(2) Barthélemy, *De la respiration et de la circulation des gaz dans les végétaux* (*Ann. des sc. nat.*, Bot., 5e série, t. XIX, p. 138). — Boehm, *De la respiration des plantes terrestres* (*ibid.*, p. 181).

(3) Nous examinerons, dans les mémoires suivants, les faits relatifs à l'absorption de l'oxygène et à l'émission d'acide carbonique par les autres organes végétaux; c'est alors que nous aurons à apprécier les travaux classiques de M. Fremy sur la maturation, et ceux de M. Cahours sur la respiration des fruits.

rapport qu'elle présente avec l'oxygène absorbé. Enfin, dans l'une et l'autre série nous avons fait varier la nature des atmosphères dans lesquelles avait lieu la respiration des feuilles, pour reconnaître l'influence que pouvaient exercer les gaz introduits sur le phénomène lui-même.

Toutes les expériences ont été faites dans une obscurité absolue, afin d'éviter la décomposition de l'acide carbonique, qui n'aurait pas manqué de se produire si les feuilles eussent été éclairées; enfin nous avons évité d'introduire dans les vases où se trouvaient les feuilles en expérience des matières capables d'absorber l'acide carbonique, de façon à ne pas déterminer, par le mode même d'opérer, la diffusion de l'acide carbonique contenu dans les feuilles.

Après avoir ainsi multiplié les expériences, nous avons cherché à les interpréter et à voir ce qu'on en peut déduire relativement à cette question : Quel est le rôle physiologique de la combustion interne qui s'accuse par l'absorption d'oxygène et l'émission d'acide carbonique ?

PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

§ 2.

Description de l'appareil.

Les feuilles en expérience ont été placées dans une de ces éprouvettes portant une tubulure inférieure qui sont employées dans les laboratoires pour dessécher les gaz; cette éprouvette E était contenue dans un grand cylindre de verre renfermant de l'eau dont on faisait varier la température au moyen d'un courant de vapeur traversant un tube en U plongé dans l'eau du vase V.

La disposition de l'appareil figuré dans la planche 15 permettait de maintenir les feuilles dans la même atmosphère pendant toute la durée de l'expérience, ou de renouveler cette atmosphère par un courant de gaz continu; dans tous les cas, il fallait se mettre en garde contre l'acide carbonique introduit par

l'atmosphère ambiante et recueillir absolument tout l'acide carbonique produit ; en outre, comme on voulait pouvoir agir au besoin dans l'oxygène pur, on avait adopté des dispositions convenables pour se mettre à l'abri des entraînements de gaz que produisent si souvent les mouvements de trompe déterminés par les liquides qui pénètrent dans les tubes. La figure (pl. 15) montre toutes les dispositions adoptées, et l'on voit que l'eau descendant dans le flacon A pour déplacer le gaz qui s'y trouve, est obligée de s'élever dans le petit ballon *a*, où s'arrêtent les bulles d'air entraînées ; elle déplace ensuite le gaz de A, qui se dépouille d'acide carbonique dans les boules de Liebig B, remplies de potasse concentrée ; elle passe ensuite dans le petit appareil D, renfermant un peu de mercure, et qui a pour but d'empêcher les gaz contenus dans l'éprouvette d'arriver au contact de la potasse des boules B.

Dans le tube desséchant F renfermant du chlorure de calcium, on a eu soin de placer un peu de coton à l'extrémité *f*, pour que des parcelles de chlorure de calcium ne fussent pas entraînées dans l'appareil C par le courant de gaz qui traverse ce tube à la fin de l'expérience. Enfin, cet appareil C, qui va nous indiquer à chaque expérience la quantité d'acide carbonique produite, a été disposé de la façon suivante :

A l'extrémité *h'* a été fixé un petit tube à chlorure de calcium, pour arrêter la vapeur d'eau dont s'est saturé l'air sec en passant bulle à bulle dans la solution de potasse. Ce tube fait corps avec l'appareil, de telle sorte que la différence des deux pesées faites avant et après l'expérience nous donne tout de suite le poids de l'acide carbonique formé.

Dans le tube *h'* ont été placés, entre deux tampons de coton, de petits fragments de chlorure de calcium, pour empêcher qu'il ne s'établisse, entre l'air chargé d'humidité qui se trouve dans les boules et l'air sec qui se trouve dans le tube F, un transport, qui, bien que très-faible quand l'expérience dure peu de temps, pourrait, dans des expériences de longue durée, nous donner des différences de plusieurs milligrammes.

La conduite des expériences était d'une grande simplicité.

Prenons pour exemple l'expérience n° 13 du premier tableau :

Nous avons commencé par emplir d'eau le manchon V, afin d'avoir pendant toute la durée de l'expérience une température à peu près constante.

Nous avons pesé ensuite l'appareil à boules C ; son poids était de 55gr,421.

Enfin, nous avons placé dans l'éprouvette E trois feuilles vertes de Tabac du poids de 27gr,4 ; puis, pour que l'obscurité fût bien complète, nous avons enveloppé le manchon d'un morceau de serge noire, d'une double épaisseur ; à la partie supérieure étaient ménagées trois petites ouvertures, pour laisser passer les deux tubes de l'appareil et la tige d'un thermomètre.

L'expérience ayant été commencée le 23 septembre, à cinq heures du soir, nous ne l'avons arrêtée que le lendemain 24 septembre, à onze heures et demie du matin ; elle a donc duré dix-sept heures et demie.

La température de l'eau entourant les feuilles était, le 23, de 16 degrés, et le 24, de 14 degrés.

Le 24 septembre, à onze heures et demie, nous avons, au moyen de l'eau du flacon A', déplacé l'air qui se trouvait dans le flacon A ; cet air, après s'être dépouillé dans le tube B de l'acide carbonique qu'il pouvait contenir, arrivait dans l'éprouvette E, d'où il chassait tout l'acide carbonique, qui allait se fixer dans l'appareil C.

Après avoir ainsi recueilli dans la potasse tout l'acide carbonique produit par les feuilles, nous avons de nouveau pesé l'appareil à boules.

	gr
Poids des boules de Liebig après l'expérience.......	55,500
Poids des boules de Liebig avant l'expérience.......	55,421
Acide carbonique dégagé par les feuilles...........	0,079

Trois feuilles vertes de Tabac du poids de 27gr,4 nous ont donc donné, en dix-sept heures et demie, 79 milligrammes d'acide carbonique, la température moyenne ayant été de 15 degrés.

Lorsqu'au lieu de faire les expériences dans l'air, on les faisait dans l'oxygène ou dans tout autre gaz, on commençait par

chasser l'air contenu dans l'appareil au moyen d'un fort courant du gaz employé, et l'on terminait l'expérience en déplaçant l'atmosphère produite par un courant du même gaz. Les bulles d'air entraînées par l'eau de A, s'engageant dans le tube T, montaient dans le ballon α, et ne pouvaient pas s'écouler avec le gaz de A, qui restait pur.

§ 3.

Exposé des résultats.

Les résultats obtenus par cette méthode sont résumés dans les quatre tableaux suivants. Tous les nombres insérés dans les trois premiers proviennent des observations faites sur une seule plante, le Tabac, dont les feuilles étaient d'une dimension convenable pour nos expériences. Nous voulions connaître l'influence de la température à laquelle les feuilles sont maintenues sur l'activité de leur respiration ; nous voulions apprécier comment cette activité varie avec leur état de santé ; nous cherchions encore si la combustion interne qui se traduit par le dégagement d'acide carbonique allait s'accélérant dans l'oxygène pur, et dans quelle mesure elle s'accélérait, et, pour mettre ces influences en lumière, il était nécessaire d'agir constamment sur des feuilles appartenant à la même espèce. Le tableau n° IV renferme, en revanche, les résultats obtenus à diverses températures sur des feuilles empruntées à des plantes d'espèces très-différentes.

Ces quatre tableaux sont disposés sur le même plan. Le numéro d'ordre des expériences, l'espèce de la plante à laquelle la feuille est empruntée, la durée des expériences, le poids des feuilles, la température à laquelle elles ont été exposées, sont successivement inscrits dans les premières colonnes; les deux dernières renferment le poids d'acide carbonique trouvé à la fin de l'expérience, quand on a déplacé l'atmosphère de l'éprouvette E par un courant de gaz provenant du flacon A ; enfin, la dernière colonne contient le poids de cet acide carbonique rapporté à 100 grammes de feuilles et à une durée d'expériences de dix heures.

Le tableau n° I donne tous les nombres obtenus avec des feuilles de Tabac vertes en parfait état de santé. Bien que les expériences aient duré jusqu'à vingt-deux heures, les feuilles étaient encore parfaitement fraîches quand elles sont sorties des appareils; on remarquera, au reste, que les expériences faites aux températures élevées ont été de très-courte durée.

TABLEAU I.

Expériences exécutées dans l'air atmosphérique.

Numéros d'ordre.	NATURE de la PLANTE EMPLOYÉE.	DURÉE des expériences.	POIDS des feuilles employées.	Température.	AC. CARBONIQUE. produit.	AC. CARBONIQUE. produit en 10 heures par 100 gr. de feuilles.
		Heures.	gr.	o	gr.	gr.
1.	*Nicotiana Tabacum*...... (feuilles vertes.)	6	26,25	7	0,005	0,031
2.	Id..................	19	14,36	13	0,038	0,139
3.	Id..................	17	28,72	14	0,077	0,157
4.	Id..................	17 1/2	27,4	15	0,079	0,1648
5.	Id..................	22	11,92	18	0,047	0,178
6.	Id..................	19	12,5	18	0,046	0,193
7.	Id..................	16	11,86	20	0,050	0,263
8.	Id..................	18	17,07	21	0,089	0,289
9.	Id..................	5 3/4	29,43	32	0,087	0,514
10.	Id..................	5	30,17	40	0,145	0,961
11.	Id..................	5	21,02	41	0,119	1,132
12.	Id..................	3 1/2	21,11	42	0,098	1,325

Les deux expériences suivantes ont été faites dans un courant d'air continu.

32.	*Nicotiana Tabacum*......	2	18,35	22	1,015	0,409
33.	Id..................	3	27,30	40	0,150	1,831

Le tableau n° II nous donne les résultats obtenus par les feuilles jaunes qui sont si abondantes à la partie inférieure des pieds de Tabac. En comparant les nombres de la dernière colonne à ceux que renferme à la même place le tableau n° I, on voit combien est moins active la respiration de ces feuilles déjà malades; nous aurons, au reste, occasion de revenir plus loin sur ces résultats.

TABLEAU II.

Expériences exécutées dans l'air atmosphérique.

Numéros d'ordre.	NATURE de la PLANTE EMPLOYÉE.	DURÉE des expériences.	POIDS des feuilles employées.	Température.	AC. CARBONIQUE. produit.	AC. CARBONIQUE. produit en 10 heures par 100 gr. de feuilles.
		Heures.	gr.	o	gr.	gr.
13.	*Nicotiana Tabacum*...... (feuilles jaunes.)	17	29,37	13	0,040	0,080
14.	Id..................	6	31,75	13	0,012	0,062
15.	Id..................	17	28,18	13	0,040	0,083
16.	Id..................	24	35,4	14	0,061	0,071
17.	Id..................	18	6,59	16	0,011	0,092
18.	Id..................	18 1/2	20,54	17	0,045	0,118
19.	Id..................	14	30,65	18	0,068	0,158
20.	Id..................	18	5,11	19	0,012	0,130
21.	Id..................	16 1/2	16,85	21	0,057	0,204
22.	Id..................	5	26,95	41	0,090	0,667

Les chiffres insérés au tableau n° 3 ont été obtenus dans l'oxygène; on déplaçait, ainsi qu'il a été dit plus haut, l'air contenu dans l'éprouvette E, au commencement de l'expérience, par un courant d'oxygène; puis, à la fin de l'expérience, on chassait de nouveau les gaz formés dans cette atmosphère par un nouveau courant d'oxygène. Ces expériences ont eu lieu à des températures variées, et ont porté, les premières sur des feuilles de Tabac parfaitement vertes, les autres sur des feuilles déjà jaunies.

TABLEAU III.

Expériences exécutées dans l'oxygène.

Numéros d'ordre.	NATURE de la PLANTE EMPLOYÉE.	DURÉE des expériences.	POIDS des feuilles employées.	Température.	AC. CARBONIQUE. produit.	AC. CARBONIQUE. produit en 10 heures par 100 gr. de feuilles.
		Heures.	gr.	o	gr.	gr.
23.	*Nicotiana Tabacum*...... (feuilles vertes.)	15	13,8	15	0,032	0,154
24.	Id..................	14	9,9	16	0,030	0,215
25.	Id..................	7	12,5	18	0,025	0,285
26.	Id..................	42	14,05	19	0,144	0,244
27.	Id..................	6	14,84	40	0,075	0,854
28.	Id..................	7	14,36	40	0,132	1,317
29.	Feuilles jaunes..........	24	20,85	17	0,054	0,108
30.	Id..................	22	17,06	18	0,056	0,144
31.	Id..................	6	22,00	40	0,075	0,568

Enfin, nous avons voulu comparer les nombres précédents obtenus exclusivement avec des feuilles de Tabac à ceux que donnent des feuilles appartenant à des espèces complétement différentes : les expériences ont porté sur la *Moutarde blanche*, sur l'*Oseille*, le *Ficus elastica*, et enfin sur le *Pinus Pinaster* ; elles sont insérées au tableau n° IV.

TABLEAU IV.

Expériences exécutées dans l'air atmosphérique.

Numéros d'ordre.	NATURE de la PLANTE EMPLOYÉE.	DURÉE des expériences.	POIDS des feuilles employées.	Température.	AC. CARBONIQUE. produit.	AC. CARBONIQUE. produit en 10 heures par 100 gr. de feuilles.
		Heures.	gr.	o	gr.	gr.
34.	*Sinapis alba.* (Moutarde blanche.)...........	17	23,25	14	0,095	0,240
35.	Feuilles vertes..........	4	22,9	31	0,066	0,720
36.	Id.................	3	26,2	40	0,049	0,636
37.	Feuilles jaunes..........	16 1/2	12,94	15	0,006	0,028
38.	*Ficus elastica*.......... (feuilles vertes.)	21 1/2	27,95	14	0,007	0,011
39.	Id.................	4	35,3	42	0,039	0,276
40.	*Rumex Acetosa*. (Oseille.).	8	25,9	14	0,033	0,159
41.	Id.................	7	24	30	0,051	0,303
42.	Id.................	3	23,3	40	0,100	1,430
43.	*Pinus Pinaster*..........	24 1/2	30	0	0,023	0,031
44.	Id.................	69	30	8	0,122	0,058
45.	Id.................	21	30	15	0,066	0,095
46.	Id.................	6	30	30	0,131	0,703
47.	Id.................	5 1/2	30	40	0,220	1,333

§ 4.

Influence de la température.

Les expériences insérées dans le tableau précédent indiquent clairement que la quantité d'acide carbonique émise augmente régulièrement avec l'élévation de température. Ce fait important, déjà signalé par M. Garreau, l'a été récemment encore par M. Boehm, dans le mémoire dont la rédaction des *Annales*

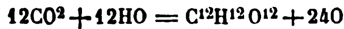
a donné la traduction (1). Pour que cette influence fût nettement saisie, nous avons, dans les quatre tableaux précédents, disposé les expériences par ordre croissant de température ; aussi reconnaît-on sans peine que la quantité d'acide carbonique émise croît presque régulièrement, qu'il s'agisse de feuilles en bon état de santé ou au contraire de feuilles déjà jaunies, qu'elles soient placées dans l'air atmosphérique ou dans l'oxygène, quelle que soit enfin l'espèce à laquelle appartient l'organe mis en expérience.

Tandis que le phénomène de nutrition qui s'accuse par le dégagement d'oxygène, tandis que la transpiration qui favorise le transport des principes immédiats solubles d'un organe à l'autre, sont déterminés par l'intensité lumineuse, la respiration au contraire est plus directement en relation avec la chaleur obscure, et c'est là une différence essentielle sur laquelle il convient d'appuyer.

Nous savons quel avantage considérable les horticulteurs du Nord trouvent à placer les plantes dont ils veulent hâter la croissance sous des cloches, sous des vitrages, dans des serres : or, il n'est pas douteux qu'une partie de la lumière solaire ne soit dispersée au moment où elle rencontre ces surfaces de verre ; les plantes ainsi abritées perdent donc une partie des radiations lumineuses dont elles auraient bénéficié en plein air, mais elles séjournent dans un milieu dont la température s'élève de plusieurs degrés au-dessus de la température ambiante. Or, l'énergie de la respiration s'accroissant avec la température, le développement des plantes étant aussi singulièrement activé par cette même élévation de température, il semble qu'il existe entre les deux phénomènes une liaison encore mal définie et qu'il serait utile de préciser. On sait que l'abondance avec laquelle se rencontre la glycose dans les jeunes feuilles a fait admettre à plusieurs physiologistes que ce principe immédiat était le premier qui prenait naissance sous l'influence de la lumière, par la décomposition simultanée de l'acide

(1) *Vide suprà*, p. 181.

carbonique et de l'eau : tandis que l'oxygène qui provient de l'un et de l'autre se dégage, les deux résidus hydrogène et oxyde de carbone s'unissent pour former la glycose, d'après l'équation suivante :



$$12CO^2 + 12HO = C^{12}H^{12}O^{12} + 24O$$

On sait encore que M. Berthelot* professe que les hydrates de carbone, tels que le sucre de Canne, $C^{24}H^{22}O^{22}$, l'amidon, $C^{36}H^{30}O^{30}$, les celluloses, $C^{48}H^{40}O^{40}$, dérivent de la glycose par combinaison de plusieurs molécules réunies avec élimination d'eau, par suite d'une réaction semblable à celle qui détermine la formation des éthers par l'union de 2 molécules d'alcool. Or, cette union de 2 molécules d'alcool n'a pas lieu à froid, il faut que la chaleur intervienne pour qu'elle se produise ; et si l'on raisonne par analogie, on sera conduit à penser qu'une certaine quantité de chaleur devra être également mise en jeu pour déterminer l'union de ces molécules de glycose qui doivent former les nouveaux principes qui apparaissent dans les feuilles. Or, les feuilles plongées dans l'obscurité absorbent de l'oxygène et exhalent de l'acide carbonique ; il se produit dans leurs tissus une combustion interne qui occasionne un dégagement de chaleur. Puisque cette chaleur n'est pas sensible aux instruments les plus délicats, elle doit être utilisée dans les tissus mêmes à un travail chimique qui sera d'autant plus énergique, que la combustion sera elle-même plus active. Mais les expériences précédentes démontrent que la combustion interne est d'autant plus active que les feuilles sont soumises à une chaleur obscure plus intense ; on sait, d'autre part, que cette même chaleur obscure est favorable au développement de la plante, par suite à la formation de nouveaux principes immédiats, de telle sorte qu'il semble qu'il y ait là une relation de cause à effet, et que si la chaleur obscure hâte la croissance des végétaux, c'est en activant les phénomènes de combustions internes nécessaires à la formation des nouveaux principes immédiats.

Cette manière de voir reste, il faut le reconnaître, à l'état

d'hypothèse; elle ne paraît pas être susceptible d'une démonstration rigoureuse, tant que les phénomènes thermiques qui accompagnent la formation des principes immédiats n'auront pas été étudiés d'une façon complète.

§ 5.

Influence de l'état des feuilles sur l'émission d'acide carbonique.

Si l'on compare les nombres insérés dans la dernière colonne du tableau I, qui ont été obtenus en employant aux expériences des feuilles vertes de Tabac, aux chiffres du tableau II, qui ont été fournis par des feuilles jaunes, on reconnaît immédiatement que l'état de la feuille a une influence notable sur son activité respiratoire. Ainsi, l'expérience n° 2 a été faite à 13 degrés, comme les expériences 14 et 15; la feuille verte a donné en dix heures $0^{gr},139$ d'acide carbonique, tandis que la feuille jaune en a donné seulement $0^{gr},062$ dans un cas et $0^{gr},083$ dans un autre, c'est-à-dire un peu plus de la moitié. A des températures plus élevées, les choses se sont passées de même : ainsi, à 41 degrés, les feuilles vertes ont donné en dix heures $1^{gr},132$ d'acide carbonique, tandis que le même poids de feuilles jaunes en a donné seulement $0^{gr},667$.

Quand on a remplacé l'air atmosphérique par l'oxygène pur, on a continué à constater les mêmes différences. C'est ainsi qu'à 16 degrés, les feuilles vertes donnaient dans ce gaz $0^{gr},215$ d'acide carbonique, tandis que les feuilles jaunes n'en ont fourni que $0^{gr},108$; qu'à 40 degrés, les feuilles vertes en ont donné dans une expérience $0^{gr},844$ et $1^{gr},312$ dans l'autre; résultats assez divergents, mais supérieurs l'un et l'autre aux $0^{gr},568$ qui ont été donnés dans ce gaz par les feuilles jaunes à cette même température.

La décomposition de l'acide carbonique par les feuilles ne se produit que dans les cellules à chlorophylle ; elle cesse quand cette chlorophylle est détruite. Il n'en est plus de même de la respiration, elle persiste dans les organes déjà affaiblis : il est probable que cette persistance de la fonction respiratoire dans

un organe qui a perdu la puissance d'assimilation est une des causes de sa destruction lente, puis de sa mort et de sa chute. Nous aurons au reste occasion de revenir sur ce sujet dans la seconde partie de ce travail.

§ 6.

Influence de la nature de l'atmosphère ambiante sur l'émission d'acide carbonique.

Quand on compare les nombres obtenus dans l'oxygène à ceux qui ont été fournis par les expériences exécutées dans l'air, on ne trouve pas de différences très-sensibles : les chiffres insérés dans le tableau III sont souvent légèrement plus forts que ceux des tableaux I et II, mais ils ne le sont pas autant qu'on aurait pu le croire au premier abord. C'est ainsi qu'à 15 degrés on a obtenu pour l'expérience 23, dans l'oxygène, un nombre semblable à celui qu'a fourni l'expérience 3 dans l'air atmosphérique ; qu'à 40 degrés, les expériences 28 et 12, toutes deux exécutées à 42 degrés, ont encore fourni des chiffres à peu près semblables ; en revanche, les expériences 24, 25 et 26 donnent des chiffres un peu plus forts que les expériences 4, 5 et 6, exécutées aux mêmes températures, dans l'air. Toutefois il ne faut pas attacher à ces différences une très-grande importance ; car nous voyons dans les expériences exécutées dans l'oxygène, à des températures semblables, des divergences plus grandes que celles que nous venons de signaler entre les nombres obtenus dans l'oxygène et dans l'air atmosphérique.

Il est digne de remarque, au reste, que si l'oxygène, à une température élevée, exerce des réactions infiniment plus énergiques que l'air atmosphérique, à la température ordinaire, au contraire, les actions sont à peu près semblables ou même moins puissantes ; on sait notamment que le phosphore, qui se combine aisément, à froid, avec l'oxygène atmosphérique, reste inerte dans l'oxygène pur tant qu'il est à la pression ordinaire.

La présence de l'acide carbonique, même en faible quantité, dans l'atmosphère ambiante, exerce une action nuisible sur la quantité d'acide carbonique produite.

C'est ce qu'on voit très-nettement dans les expériences 32 et 33, placées à la suite du tableau I, et qui ont été faites dans un courant d'air constamment renouvelé : la quantité d'acide carbonique produite par les feuilles séjournant dans une atmosphère confinée a été, à 21 degrés, de $0^{gr},289$; à 22 degrés, dans l'air renouvelé, la quantité est montée à $0^{gr},409$; à 40 degrés, dans l'atmosphère confinée, les feuilles ont donné $0^{gr},961$, et dans l'atmosphère renouvelée, $1^{gr},831$, c'est-à-dire exactement le double.

Il est probable, d'après cela, que les expériences longtemps prolongées, et dans lesquelles les quantités d'acide carbonique trouvées sont considérables, ne donnent pas cependant des nombres relativement aussi élevés que ceux qu'auraient fourni des expériences de plus courte durée ; nous aurons toutefois occasion de constater dans la seconde partie de ce travail que le dégagement d'acide carbonique se continue, même quand les feuilles sont plongées dans une atmosphère qui ne renferme plus d'oxygène.

§ 7.

Influence de l'espèce à laquelle appartiennent les feuilles.

Toutes les expériences insérées dans les trois premiers tableaux ont porté sur les feuilles de Tabac, et quand il s'agissait de comparer l'influence de la température, de la nature de l'atmosphère, il était nécessaire d'agir sur des feuilles appartenant à la même espèce ; mais il était intéressant de comparer l'activité respiratoire de feuilles appartenant à des espèces différentes. On reconnaîtra, à l'inspection du tableau n° IV, qu'à la température ordinaire, les feuilles persistantes donnent moins d'acide carbonique que les feuilles caduques. Ainsi le *Ficus elastica* et le *Pinus Pinaster* donnent, à 14 et 15 degrés, beaucoup moins que le Tabac, la Moutarde et l'Oseille ; à 30 degrés, la Moutârde a donné un nombre plus élevé que l'Oseille. Mais à 40 degrés, au contraire, l'activité respiratoire a paru moins énergique : c'est le seul exemple que nous ayons eu d'une diminution dans l'émis-

sion d'acide carbonique coïncidant avec une élévation de température. A 42 degrés, le *Ficus elastica* donne encore très-peu d'acide carbonique; mais, au contraire, à ces températures élevées (40 degrés), le *Pinus Pinaster* a donné un nombre comparable à celui que fournissent les feuilles caduques.

Cette activité respiratoire, variable avec les espèces, est-elle liée à la quantité de stomates qui existent sur une surface donnée? C'est ce qu'il est impossible d'affirmer dans l'état actuel de la science, mais ce qui mériterait d'être l'objet d'une étude attentive.

§ 8.

Comparaison entre l'activité respiratoire des feuilles et celle des animaux inférieurs.

Les nombres contenus dans la dernière colonne des tableaux I, II, III et IV, nous donnent les quantités d'acide carbonique émises par 100 grammes de feuilles en dix heures; mais nous aurions quelque peine à nous figurer l'importance de cette fonction chez les végétaux, si nous ne la comparions à l'activité qu'elle présente chez d'autres êtres vivants. Il est clair que les animaux, qui produisent à la fois chaleur et mouvement, émettent une quantité d'acide carbonique infiniment supérieure à celles que peuvent donner les feuilles; mais en est-il de même pour les animaux à sang froid? A priori, on pouvait en douter; cependant, avant d'avoir fait cette comparaison, en ramenant les nombres donnés par MM. Regnault et Reiset dans leur travail classique sur la respiration, aux unités que nous avons choisies, nous ne pensions pas que les feuilles pussent donner une quantité d'acide carbonique supérieure à celle des animaux, et c'est cependant ce qui a lieu.

Nous avons ramené les nombres de MM. Regnault et Reiset à 100 grammes d'animal respirant pendant dix heures, et nous avons obtenu les chiffres suivants :

Quantités d'acide carbonique produites par 100 *grammes d'animaux en dix heures,* d'après MM. Regnault et Reiset (1).

GRENOUILLES.

	Acide carbonique.	Température.	Observations.
Expér. 70.......	0,063	15°	
71.......	0,084	16,6	
72.......	0,110		
73.......	0,107	19	
74.......	0,059	17	Les poumons ont été coupés.
75.......	0,061	17	
76.......	0,048	21	Les poumons ont été enlevés.

SALAMANDRES.

Expér. 77.......	0,215	18°	

LÉZARDS.

Expér. 78.......	0,032	7,3	Engourdis.
79.......	0,044	14,8	Incomplétement réveillés.
80.......	0,197	23,4	Réveillés.

HANNETONS.

Expér. 81.......	1,171		
82.......	1,182		

VERS A SOIE.

Expér. 83.......	0,812		Près de filer.
84.......	0,739		Près de filer.
85.......	1,193		3e âge.
Chrysalides......	0,212		

On voit qu'à égalité de température, c'est-à-dire de 15 à 21 degrés, les Grenouilles donnent des nombres infiniment plus faibles que les feuilles de Tabac, de Moutarde et d'Oseille, mais comparables à ceux qui sont fournis par le *Pinus Pinaster*. MM. Regnault et Reiset n'ont pas donné les températures auxquelles ont eu lieu les expériences sur les Vers à soie, mais il est vraisemblable que ces expériences ont été faites au printemps,

(1) *Annales de chimie et de physique*, 5e série, 1849, t. XXVI, p. 490.

par conséquent à des températures voisines des précédentes. Or, à 15 degrés, l'activité respiratoire de ces petits animaux est comparable à celle des feuilles caduques à 30 degrés, mais notablement supérieure à celles qu'elles fournissent aux températures de 15 à 20 degrés.

Nous avons reconnu dans tous les tableaux précédents que l'activité respiratoire des feuilles s'exaltait avec l'élévation de température, et quelquefois les nombres s'accroissaient avec une très-grande rapidité : c'est ainsi que le Pin, qui ne donnait que $0^{gr},095$ d'acide carbonique à 15 degrés, en fournissait $0^{gr},703$ à 30 degrés et $1^{gr},333$ à 40 degrés. Or il est curieux de voir que, pour les Lézards, on trouve des nombres croissant aussi avec rapidité à mesure que la température s'élève : ainsi à 7°,3, 100 grammes de Lézard ne fournissaient en dix heures que $0^{gr},032$ d'acide carbonique, et ils étaient complétement engourdis ; à 14°,8, ils étaient imparfaitement réveillés, et ils donnaient $0^{gr},044$ d'acide carbonique ; enfin à 23°,4, réveillés complétement, ils en donnaient $0^{gr},197$. La vie végétale, comme la vie animale, semble engourdie par le froid, et le réveil s'accuse dans l'une et dans l'autre par une recrudescence d'activité dans les phénomènes de respiration.

DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

Nous avons reconnu dans la première partie de ce travail que la quantité d'acide carbonique émise par les feuilles variait avec la température à laquelle elles étaient soumises : mais nos appareils n'étaient pas disposés de manière à nous permettre de déterminer dans quels rapports se trouvaient l'oxygène employé à la respiration de la feuille et l'acide carbonique émis ; ils ne nous permettaient pas davantage d'établir quelles modifications surviennent dans une atmosphère confinée par le séjour prolongé des feuilles, et pour les déterminer, il était nécessaire d'instituer une nouvelle série d'expériences, dont nous allons exposer les résultats.

§ 9.

Disposition des expériences.

Pour déterminer le rapport qui existe entre l'oxygène absorbé et l'acide carbonique émis, nous avons placé, pendant cette deuxième série de recherches, les feuilles dans une atmosphère limitée; nous avons mesuré le volume du gaz et déterminé sa composition avant et après l'expérience, et en ramenant les volumes à zéro et à 760 millimètres de pression, il nous a été facile d'en déduire la quantité d'acide carbonique produite et la quantité d'oxygène disparue. Notre manière d'opérer sera établie nettement par un exemple, que nous fournira l'expérience n° 58 du tableau V. Nous avons pesé 30 grammes d'aiguilles de *Pinus Pinaster*, et nous les avons introduites, sous la cuve à eau, dans une éprouvette contenant 210 centimètres cubes d'air atmosphérique à 13 degrés et à 765^{mm},5 de pression.

Nous avons porté ensuite l'éprouvette contenant les feuilles sur la cuve à mercure, et, au moyen d'une pipette recourbée, nous avons aspiré l'eau que renfermait cette éprouvette, de façon à remplacer ce liquide par du mercure. Il est très-facile, avec un peu d'habitude, d'enlever ainsi presque toute l'eau contenue dans la cloche : dans toutes nos expériences, il ne restait jamais sur la surface du mercure plus d'un centimètre cube d'eau, quantité assez grande pour saturer d'humidité le gaz contenu dans la cloche, pour empêcher les vapeurs mercurielles d'exercer leur action toxique sur les feuilles, mais trop faible par rapport à la solubilité de l'acide carbonique pour être une cause d'erreur sensible. Cette manière d'opérer est préférable à celle qui consisterait à introduire directement les feuilles sous le mercure, car elles en retiennent toujours quelques gouttelettes qui peuvent exercer une action nuisible.

L'éprouvette renfermant les feuilles est placée sur un petit cristallisoir contenant du mercure, et l'on descend le tout dans un manchon de verre rempli d'eau, de façon à avoir une température constante pendant toute la durée de l'expérience.

Ce récipient, afin de laisser les plantes dans une obscurité complète, était entouré d'une double couche de papier noir.

L'expérience avait été commencée le 10 novembre, à quatre heures de l'après-midi ; nous l'avons arrêtée le 15 novembre, à trois heures : elle a donc duré cent dix-neuf heures.

Nous avons porté l'éprouvette sur la cuve à eau ; nous avons remplacé par ce dernier liquide le mercure qu'elle contenait, et nous avons rapidement mesuré le volume du mélange gazeux.

La température de l'eau de la cuve était 8°,5, la pression atmosphérique 765 millimètres.

Le volume du gaz était de 254 centimètres cubes.

En voici l'analyse :

Pris sur la cuve à eau	23 cent. cub.
Après potasse caustique	14,7
Après acide pyrogallique	14,7

Ainsi, 23 centimètres cubes de gaz contenaient 23 — 14,7 = 8^{cc},3 d'acide carbonique, 0^{cc} d'oxygène et 14^{cc},7 d'azote.

Si maintenant nous ramenons à 0° et à 760 le volume primitif et le volume final, nous avons :

$$\text{Volume primitif} = \frac{210\ (H-F)}{(1+\alpha t)\ 760}$$

$$\text{Vol. pr.} = \frac{210\ (765{,}5 - 11{,}16)}{1{,}04758 \times 760}$$

$$\text{Log. vol. pr.} = (\log 210 + \log 754{,}34) - (\log 1{,}04758 + \log 760).$$

$$\text{Log. vol. pr.} = 2{,}2987828$$

$$\text{Vol. pr.} = 198^{cc}{,}96.$$

$$\text{Volume final} = \frac{254\ (H-F)}{(1+\alpha t)\ 760}$$

$$\text{Vol. fin.} = \frac{254\ (765 - 8{,}291)}{1{,}03111 \times 760}$$

$$\text{Log vol. fin.} = (\log 254 + \log 756{,}71) - (\log 1{,}03111 + \log 760).$$

$$\text{Log vol. fin.} = 2{,}3896496$$

$$\text{Vol. fin.} = 245{,}27.$$

Le volume primitif étant de l'air atmosphérique, sa composition

est facile à déterminer. Représentons par x la quantité d'oxygène qu'il contient, nous aurons :

$$198,96 : x :: 1000 : 208$$

$$x = \frac{198,96 \times 208}{1000} = 41,38.$$

La plante a donc été placée dans un mélange de 41,38 d'oxygène et de 157,58 d'azote.

D'après l'analyse du gaz final, analyse citée plus haut, nous aurons pour la quantité totale d'acide carbonique produite :

$$245,27 : x :: 23 : 8,3$$

$$x = \frac{245,27 \times 8,3}{23} = 88,51.$$

A la fin de l'expérience, tout l'oxygène avait été absorbé, et il s'était produit $88^{cc},51$ d'acide carbonique.

Pour rendre les résultats plus sensibles, nous avons disposé nos chiffres dans l'ordre suivant :

	Gaz primitif.	Gaz final.	Différences.
Volume total..........	198,96	245,27	+ 46,31
Acide carbonique.......	«	88,51	+ 88,51
Oxygène..............	41,38	«	— 41,38
Azote................	157,58	156,76	— 0,82

Cet exemple suffit pour indiquer comment ont été obtenus les nombres indiqués dans le tableau n° V. On voit qu'un grand nombre d'expériences, ayant pour but d'établir l'influence de la longueur du séjour des feuilles dans une atmosphère limitée, ont été faites sur la même plante, le *Pinus Pinaster*. On voit aussi que nous avons toujours employé le même poids de feuilles, ce qui était facile, à cause du faible poids des aiguilles et de la possibilité d'ajouter au faisceau employé, aiguille par aiguille, jusqu'au moment où l'on avait exactement 30 grammes.

Le tableau renferme au reste un certain nombre d'autres expériences sur les aiguilles de Pin sylvestre, sur les feuilles de Tabac, sur des feuilles d'Agave, des rameaux d'*Opuntia*, etc.

L'échelle des températures a varié depuis 0° jusqu'à 35 degrés ; mais la plupart des observations ont été faites à la tempé-

rature ordinaire. La colonne n° 5 indique la durée des expériences qui se sont souvent prolongées pendant plusieurs jours. Les quatre colonnes suivantes nous donnent le volume primitif ramené à 0° et à 760 millimètres avec sa composition. La plupart des expériences ont été faites dans l'air; cependant 62 et 63 ont eu lieu dans l'oxygène pur, 64 et 65 dans l'azote pur, enfin 66 dans l'acide carbonique.

Le volume final, ramené à 0° et à 760 millimètres avec sa composition, est indiqué dans les colonnes 10, 11, 12, 13. Les différences de composition sont indiquées plus loin : on voit que les nombres contenus dans la colonne 14 représentent la différence de ceux qui sont inscrits dans 8 et dans 11 ; comme les feuilles ont toujours été maintenues dans l'obscurité, on a trouvé toujours moins d'oxygène à la fin des expériences qu'au commencement.

L'acide carbonique produit est indiqué à la colonne 15 ; ce nombre est généralement égal à celui qui est indiqué dans la colonne 13, puisque les gaz dans lesquels on a opéré ne renfermaient pas d'acide carbonique au commencement des expériences. La colonne 16 indique la différence constatée entre la quantité d'azote trouvée au commencement de l'expérience et celle qui existait sous les cloches à la fin : tantôt il y a en plus de l'azote à la fin, et l'on a inscrit le chiffre sans le faire précéder d'aucun signe ; quand au contraire l'azote a été en défaut, on a placé devant le nombre inscrit le signe —.

Pour faciliter les comparaisons, nous avons inscrit dans la colonne 17 la quantité d'oxygène absorbée par 30 grammes de feuilles dans 200 centimètres cubes de gaz, et dans la colonne 18 la quantité d'acide carbonique dégagée dans les mêmes conditions.

Enfin, en divisant la quantité d'acide carbonique obtenue par la durée de l'expérience, nous avons pu constater la quantité d'acide carbonique émise en une heure pendant l'expérience ; les nombres ainsi trouvés sont insérés à la colonne 19.

Modifications que font subir à une atmosphère

1. NUMÉROS D'ORDRE.	2. NATURE de la PLANTE EMPLOYÉE.	3. POIDS des feuilles employées.	4. TEMPÉRATURE.	5. DURÉE de l'expérience en heures.	6. VOLUME PRIMITIF. Volume total.	7. Oxygène.	8. Azote.	9. Acide carbonique.
		gr.	o		cc	cc	cc	cc
50.	*Pinus Pinaster* (Pin maritime).......	30	15	5	188,12	39,129	148,991	»
51.	Id............	30	15	18	188,12	39,129	148,991	»
52.	Id............	30	13	22	187,07	38,91	148,16	»
53.	Id............	30	13	47	189,11	39,33	149,78	»
54.	Id............	30	12	70	195,38	40,64	154,74	»
55.	Id............	30	14	72	189,11	39,33	149,78	»
56.	Id............	30	13	72	168,46	35,04	133,42	»
57.	Id............	30	13	74	187,07	38,91	148,16	»
58.	Id............	30	14	119	198,96	41,38	157,58	»
59.	Id............	30	0	24	191,37	39,80	151,57	»
60.	Id............	30	0	114	191,37	39,80	151,57	»
61.	Id............	30	7	22	187,07	38,91	148,16	»
62.	Id............	30	14	45	188,4	188,4	»	»
63.	Id............	30	14	164	181,8	181,8	»	»
64.	Id............	30	13	26 1/2	174,08	»	174,08	»
65.	Id............	30	6	116	168,46	»	168,46	»
66.	Id............	30	13	92	204,25	»	»	204,25
67.	*Pinus silvestris*....	23,86	35	4 1/2	159,85	32,248	126,602	»
68.	Id............	24,32	17	24 1/2	160,77	33,44	127,33	»
69.	*Nicotiana Tabacum*.	6,75	12	71	178,47	37,12	141,35	»
70.	Id............	14	13	93	168,46	35,04	133,42	»
71.	*Ficus elastica*.....	23	13	72	185,60	38,60	147	»
72.	Id............	23	13	170	192,8	40,10	152,70	»
73.	Id............	15,5	12	50	185,02	38,48	146,54	»
74.	*Agave americana*..	70	0	47	550	114,40	435,60	»
75.	Id............	70	11	90	524,19	109,03	415,16	»
76.	Id............	70	40	5	517,85	107,71	410,14	»
77.	*Agave micracantha*.	55	0	48	780	162,24	617,76	»
78.	Id............	55	11	90	791,05	164,53	626,52	»
79.	*Opuntia elata*.....	62	12	20	385,80	80,25	305,55	»
80.	Id............	65	15	22	555,17	115,47	439,70	»

ABLEAU V.

née les feuilles maintenues à l'obscurité.

NUMÉROS D'ORDRE.	10. VOLUME FINAL. Volume total.	11. Oxygène.	12. Azote.	13. Acide carbonique.	14. OXYGÈNE absorbé.	15. ACIDE carbonique produit.	16. AZOTE apparu.	17. OXYGÈNE absorbé par 30 gr. de feuilles dans 200 c.c. de gaz.	18. ACIDE carbonique produit par 30 gr. de feuilles dans 200 c.c. de gaz.	19. ACIDE carbon. produit par 30 gr. de feuilles dans 200 c.c. de gaz en 1 heure.
	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc
50.	188,12	29,00	150,50	8,62	10,129	8,62	1,509	10,77	9,16	1,8
51.	179,69	5,19	155,94	18,56	33,93	18,56	6,949	36,08	19,73	1,0
52.	185,98	12,60	152,90	20,48	26,31	20,48	4,74	28,13	21,89	0,94
53.	186,6	0,80	150,56	35,24	38,53	35,24	—0,78	40,75	37,26	0,79
54.	213,88	»	157,74	56,14	40,64	56,14	3	41,59	57,46	0,81
55.	215,88	»	149,17	66,71	39,33	66,71	—0,61	41,59	70,55	0,97
56.	194,92	»	140,78	58,14	35,04	58,14	7,36	41,59	69,02	0,95
57.	227,83	»	160,04	67,79	38,91	67,79	11,88	41,59	80,33	1,08
58.	245,27	»	156,76	88,51	41,38	88,51	0,82	41,59	88,97	0,74
59.	185,96	32,03	150,03	3,90	7,77	3,90	»	8,12	4,07	0,16
60.	182,26	»	154,93	27,33	39,80	27,33	»	41,59	28,56	0,25
61.	185,04	23,83	144,47	16,74	15,08	16,74	—3,69	16,12	17,89	0,81
62.	187,3	115,63	14,67	57.	72,77	57	14,67	77,78	60,51	1,34
63.	173,21	0,72	16,49	156	181,08	156	16,49	199,20	171,61	1,04
64.	185,58	»	170,54	15,04	»	15,04	—3,54	»	17,27	0,65
65.	209,02	»	175,57	33,45	»	33,45	7,11	»	39,71	0,34
66.	221,27	»	1	220,27	»	16,02	1	»	15,68	0,17
67.	168,83	18,643	128,61	18,59	19,605	18,59	2,008	24,52	23,25	5,16
68.	167,27	7,20	141,07	19	26,24	19	13,74	32,64	23,63	0,96
69.	185,98	»	145,52	40,46	37,12	40,46	4,17	41,59	45,34	0,63
70.	192,83	»	140,47	52,36	35,04	52,36	7,05	41,59	62,18	0,67
71.	189,06	»	150,45	38,61	38,60	38,61	3,45	41,59	41,60	0,57
72.	215,26	»	156,30	58,96	40,10	58,96	3,6	41,59	61,16	0,36
73.	182,50	20,36	148,57	20,36	18,12	13,57	2,03	37,90	28,39	0,56
74.	550	114,40	435,60	»	»	»	»	»	»	»
75.	522,64	60,22	430,16	32,26	48,81	32,36	15	7,98	5,28	0,05
76.	512,10	79,88	407,72	24,5	27,83	24,5	—2,42	4,60	4,05	0,81
77.	780	162,24	617,76	»	»	»	»	»	»	»
78.	791,17	122,76	641,13	27,28	41,77	27,28	14,61	5,75	3,76	0,041
79.	382,28	73,63	308,65	»	6,62	»	3,10	1,66	»	»
80.	554,54	110,19	440,76	4,59	5,28	4,59	1,06	0,92	0,80	0,036

§ 10.

Des changements de volume observés pendant le séjour des feuilles dans une atmosphère confinée, à l'obscurité.

Si l'on compare, dans le tableau n° V, le volume total au commencement des expériences à celui qu'on observe à la fin, on reconnaît que le volume diminue pendant les premières heures (expériences 51, 52, 53, 59, 60), et surtout aux basses températures (expériences 59, 60, 61). Mais il n'en est plus ainsi quand l'expérience se prolonge; nous trouvons alors au contraire que le volume augmente, et d'autant plus que l'expérience dure pendant un temps plus long. C'est ce qui apparaît nettement dans les chiffres suivants :

		Durée.	Volume primitif.	Volume final.	Différence.
			cc.	cc.	cc.
Expér.	54...	70 heures.	195,38	213,88	18,50
Id.	55...	72	189,11	215,88	26,77
Id.	56...	72	168,46	194,92	26,56
Id.	57...	74	187,07	227,81	40,76
Id.	58...	119	245,27	198,96	56,21

Toutes ces expériences ont porté sur le *Pinus Pinaster*, dont les aiguilles résistent, sans s'altérer à un long séjour dans les appareils.

Quand les expériences dépassent les limites précédentes, le volume du gaz continue à croître; mais il faut alors prendre des précautions particulières pour recueillir tout le gaz émis, car si la cloche n'est pas de très-grande dimension par rapport aux feuilles, elle est soulevée hors du mercure, et une partie du gaz est perdue. C'est ainsi que le 19 novembre on avait introduit 30 grammes d'aiguilles de Pin dans 200 centimètres cubes d'air atmosphérique. Le 26, en rentrant au laboratoire, on trouve que l'éprouvette était soulevée hors du mercure, elle flottait dans l'eau du récipient; elle contenait encore 282 centimètres cubes de gaz, malgré l'acide carbonique qui avait dû se dissoudre pendant la nuit.

Le même jour 19 novembre, on avait disposé une autre expérience semblable à la précédente, et qui fut manquée par suite du même accident; au moment où l'on retire la cloche flottant dans l'eau du récipient, elle renfermait encore 302 centimètres cubes, c'est-à-dire que le volume avait augmenté de plus d'un tiers.

Les faits précédents ont été observés à des températures comprises entre 12 et 15 degrés; mais en maintenant les aiguilles de Pin maritime à zéro pendant cent quatorze heures, on n'observe plus d'augmentation de volume; le volume est au contraire plus faible à la fin de l'expérience qu'au commencement.

Le séjour prolongé sous les atmosphères confinées des feuilles de Tabac ou de *Ficus elastica* a déterminé des augmentations de volume analogues à celles qu'ont données les aiguilles de *Pinus Pinaster;* on a même encore observé cette augmentation dans l'expérience 67, où les aiguilles de Pin sylvestre ne sont restées que quatre heures et demie dans l'atmosphère confinée. Mais il faut remarquer que la température a été maintenue à 35 degrés, et que, par suite, l'émission d'acide carbonique a été considérable.

L'augmentation de volume que nous avons constatée par le séjour prolongé des feuilles dans un mélange d'azote et d'acide carbonique a été observée également par M. Boehm dans le mémoire que nous avons déjà cité plusieurs fois. « La formation *immédiate* d'acide carbonique par des plantes terrestres *fraîches* dans une atmosphère privée d'oxygène est tellement constante, que, lorsque le volume du gaz dans lequel on les enferme reste le même, il faut nécessairement en conclure qu'ou bien les gaz employés renferment de l'oxygène, ou que la plante est morte. »

§ 11.

De l'absorption d'oxygène par les feuilles maintenues dans l'obscurité.

Nous indiquons dans le tableau V la composition du gaz introduit dans les éprouvettes au commencement de l'expérience et la composition du gaz à la fin. Un grand nombre d'expériences

ont été faites dans l'air atmosphérique, et en comparant la quantité d'oxygène introduite à la quantité finale, on reconnaît que cette quantité va en diminuant à mesure que l'expérience se prolonge, et que si sa durée est suffisante, l'oxygène est complétement absorbé jusqu'à la dernière trace. Un de nous avait déjà eu occasion d'observer le même fait pour les plantes aquatiques dans des expériences de laboratoire (1), et même sur une grande échelle (2), à l'étang de Grignon.

Ce fait est digne de remarque : il montre combien les végétaux résistent plus aisément à l'asphyxie que les animaux, qui périraient bien avant d'avoir absorbé jusqu'à la dernière trace d'oxygène. Habituellement les feuilles, après un séjour de plusieurs heures dans une éprouvette, ne contenant plus que de l'acide carbonique et de l'azote, ne paraissaient pas altérées ; cependant, quand ce séjour est par trop prolongé, elles se flétrissent, surtout en revenant à l'air : c'est ainsi que la feuille du *Ficus elastica* qui a servi à l'expérience 72, d'une durée de cent soixante-dix heures, et qui par conséquent était au moins depuis cent heures dans une atmosphère dépouillée d'oxygène (expérience 71), paraissait intacte au moment où on l'a sortie de la cloche ; mais après une ou deux heures, elle est devenue d'un vert sale, annonçant une décomposition prochaine (3). Les feuilles de Tabac résistent moins à ces expériences prolongées que les aiguilles de Pin maritime ; elles se flétrissent plus vite, et étaient généralement fanées après deux ou trois jours.

Quand les aiguilles de Pin ont été placées dans l'oxygène ur, elles ont absorbé ce gaz, et l'ont remplacé en partie par de l'acide carbonique, mais le volume n'a pas augmenté ; la quantité d'oxygène prise a toujours été supérieure à la quantité d'acide carbonique émise. Dans l'expérience 64, qui a duré cent soixante-

(1) *Bull. de la Soc. chim.*, 1864, t. II, p. 136.

(2) *Comptes Rendus*, 1868, t. LXVII, p. 178. — *Ann. sc. nat.*, 5e série, t. IX, p. 267.

(3) On doit à Th. de Saussure une observation analogue : « Une Rose paraît conserver, dans le gaz azote, sa forme et sa couleur ; mais lorsqu'au bout de quinze jours on croit la retirer encore fraîche, elle exhale une odeur infecte ; ses pétales sont corrompus, et l'on voit que cette vie apparente cachait une véritable mort. »

quatre heures, les aiguilles de Pin ont fini par absorber presque entièrement l'oxygène primitif; c'est à peine si l'on a pu en absorber une trace avec l'acide pyrogallique et la potasse.

§ 12.

Sur l'émission d'acide carbonique par les feuilles maintenues dans une atmosphère confinée dans l'obscurité.

Les feuilles maintenues dans l'obscurité émettent constamment de l'acide carbonique; sans doute, la quantité de ce gaz qui est fournie quand l'expérience est de courte durée est, ainsi qu'on l'a vu dans la première série d'expériences (expériences 32 et 33), relativement supérieure à celle qui est produite dans une atmosphère dépouillée d'oxygène; mais la différence est beaucoup moindre qu'on n'aurait pu l'imaginer au premier abord. Ainsi les 30 grammes d'aiguilles de Pin de l'expérience 50 nous ont donné 1^{cc},8 d'acide carbonique en une heure; l'expérience n'a duré que cinq heures, et quand on y a mis fin, il restait encore dans cette atmosphère de l'oxygène. Dans l'expérience 51, la quantité d'acide carbonique fournie par heure a été seulement de 1^{cc},0; il restait encore de l'oxygène. Les nombres continuent à décroître régulièrement, à mesure que les expériences durent plus longtemps; mais il est digne de remarque qu'à partir de l'expérience 54, la quantité d'acide carbonique émise se relève, remonte à 0^{cc},97, 0^{cc},98, 1^{cc},08 par heure, pour retomber ensuite à 0^{cc},74, bien que, dans toutes ces expériences, les feuilles aient été maintenues pendant plusieurs jours dans une atmosphère absolument dépouillée d'oxygène.

Bien que ce résultat semble au premier abord paradoxal, il est certain que la température à laquelle la feuille est exposée a plus d'influence sur le dégagement d'acide carbonique que n'en a la composition même de l'atmosphère dans laquelle elle séjourne : c'est ainsi que le nombre le plus faible qu'ait donné le Pin maritime a été fourni par des aiguilles séjournant dans l'air normal. Mais, à la température de zéro, le nombre est comparable à celui qu'on a obtenu à 13 degrés dans de l'acide carbo-

nique pur ; là la feuille a encore ajouté une nouvelle proportion d'acide carbonique à celle qui constituait l'atmosphère dans laquelle elle était plongée.

Il est clair que, lorsque la feuille est placée dans une atmosphère riche en oxygène, l'acide carbonique qu'elle produit provient surtout des combustions internes que cet oxygène provoque; cependant nous ne voyons pas que l'oxygène pur soit particulièrement favorable à cette émission. En effet, nous trouvons dans les expériences 62 et 63 que la quantité d'acide carbonique émise par heure varie de 1cc,34 à 1cc,04, c'est-à-dire que l'émission a été pendant ces expériences moins abondante que lorsque la feuille a été seulement plongée dans l'air pendant peu de temps (expérience 50). Mais quand la feuille est placée dans un gaz absolument dépourvu d'oxygène, l'émission d'acide carbonique due à la combustion est forcément supprimée, et cependant ce gaz continue d'apparaître. Ainsi nous trouvons que la quantité d'acide carbonique produite pendant les expériences 64 et 65 a donné 17cc,27 et 39cc,71 d'acide carbonique, ce qui correspond, pour l'expérience 64, à 0cc,65 par heure, et pour l'expérience 65 à 0cc,34. Cette émission d'acide carbonique dans un gaz inerte a été encore observée dans les feuilles de *Begonia* placées dans de l'hydrogène pendant quarante-cinq heures; elles y ont donné de l'acide carbonique (2cc,95 sur 134cc), mais elles y ont péri rapidement.

§ 13.

Des rapports qui existent entre l'oxygène consommé et l'acide carbonique apparu.

En examinant le tableau n° V, on reconnaît que, lorsque les expériences ont été de courte durée, on a toujours trouvé plus d'oxygène consommé qu'il n'y a eu d'acide carbonique émis (50, 51, 52), et l'on conçoit facilement qu'il en soit ainsi, si l'on songe que l'acide carbonique n'est pas le seul produit d'oxydation qui se trouve dans les végétaux. On rencontre au contraire dans les tissus de ceux-ci d'autres corps déjà très-fortement oxydés : l'acide oxalique, l'acide malique, l'acide citrique, etc.

Enfin, quand la matière organique se brûle, il est possible qu'elle fournisse non-seulement de l'acide carbonique, mais encore de l'eau, ce qui donnerait une consommation notable d'oxygène, sans production correspondante d'acide carbonique. Les nombres trouvés dans les expériences précédentes indiquent donc clairement que l'oxygène consommé par les feuilles n'est pas employé uniquement à former de l'acide carbonique, au moins immédiatement.

Est-il probable que les feuilles puissent emmaganiser de l'oxygène, de façon à l'utiliser plus tard à cette formation d'acide carbonique? Évidemment non; car on pourrait, si l'oxygène pouvait se confiner dans les feuilles, l'en extraire. Or, si nous examinons les expériences instituées par M. Boussingault pour reconnaître si les feuilles absorbent de l'azote libre, nous verrons toujours que, dans le ballon (II) renfermant les feuilles, il y a moins d'oxygène qu'il n'en existait dans l'eau qui servait à l'expérience; en d'autres termes, bien que les feuilles ne séjournassent dans l'appareil que pendant un temps assez court, elles avaient cependant fixé une partie de cet oxygène dissous.

Il est donc clair que l'oxygène est utilisé par les feuilles à la production d'autres matières que l'acide carbonique; nous ajouterons qu'il nous paraît peu vraisemblable qu'elles aient fourni de l'eau. En effet, nous voyons que la combustion interne s'accélère sous l'influence de la chaleur obscure, tandis que l'un de nous a montré dans les recherches sur l'évaporation de l'eau par les feuilles, insérées dans ce recueil même (1), que celle-ci n'a lieu que sous l'influence de la lumière, et qu'elle s'arrête absolument dans l'obscurité, tandis que nous reconnaissons ici que l'absorption d'oxygène a parfaitement lieu en l'absence de la lumière. Il est donc probable que l'oxygène non employé à la formation de l'acide carbonique se fixe sur des matières organiques, qu'il n'amène qu'au degré d'oxydation nécessaire pour les métamorphoser en acides végétaux.

C'est surtout aux basses températures que la proportion

(1) *Ann. sc. nat.*, 1869, t. XII, p. 5. Voyez aussi Dehérain, *Cours de chimie agricole*, p. 175.

d'oxygène absorbé dépasse l'acide carbonique produit. Ainsi 36 grammes d'aiguilles de Pin maritime ont fixé 8^{cc},12 d'oxygène, en produisant seulement 4^{cc},07 d'acide carbonique; à cette même température, mais en cent quatorze heures au lieu de vingt-quatre, les 30 grammes d'aiguilles ont encore pris 41^{cc},59 d'oxygène, c'est-à-dire tout ce qu'on leur a offert, mais n'ont dégagé que 28^{cc},56 d'acide carbonique. On voit que dans ces conditions, la combustion de la matière organique est moins complète que celle qui a lieu à des températures élevées : c'est ainsi que, si l'on oxyde de l'alcool sous l'influence du noir de platine, on produit de l'acide acétique, tandis que si on le brûle, on pousse l'oxydation jusqu'à ses dernières limites pour former de l'acide carbonique et de l'eau.

Il est possible qu'on trouve dans ces oxydations partielles qui se produisent à basses températures, et qui engendrent vraisemblablement les acides végétaux, l'explication de la différence de qualité des produits obtenus de la même plante à des latitudes différentes.

Les raisins qui se développent dans les régions méridionales renferment singulièrement plus de sucre que ceux qui croissent dans les latitudes plus élevées ; ceux-ci, en revanche, sont plus acides. Dans les régions méridionales, sous l'influence d'une température élevée, l'oxygène a simplement donné de l'acide carbonique qui a disparu, tandis qu'aux températures plus basses du nord, il a encore réagi sur les hydrates de carbone, mais pour donner des produits d'oxydation inférieurs, tels que l'acide tartrique, dont la saveur se communique au vin obtenu avec ces raisins.

On trouve un nouvel appui aux considérations précédentes dans les expériences qui ont porté sur l'*Opuntia*. On sait que Th. de Saussure avait remarqué que les rameaux de cette plante grasse, maintenus à l'obscurité, absorbaient de l'oxygène sans former d'acide carbonique ; nous avons obtenu dans une de nos expériences (79) un résultat tout à fait semblable ; et si (80) nous a fourni une certaine quantité d'acide carbonique, nous avons toujours observé cependant qu'il y avait plus d'oxygène

absorbé que d'acide carbonique émis : or, on sait que le *Cactus Opuntia* renferme habituellement une proportion considérable d'acide oxalique.

§ 14.

Sur l'émission d'azote.

On remarquera que le tableau V nous indique que les feuilles ont habituellement émis une petite quantité d'azote, et parfois le dégagement de ce gaz a été assez important, puisqu'il s'est élevé jusqu'à $11^{cc},88$ (exp. 57). On ne voit pas cependant que ce dégagement soit lié à la longueur du séjour des feuilles dans les cloches, et par suite à leur altération, puisque l'expérience 58, qui est une des plus longues que nous ayons faites, ne donne que $0_{cc},82$ d'azote en excès. Quand les expériences ont été faites dans l'oxygène pur, on a trouvé souvent une quantité d'azote assez considérable $14^{cc},67$ et $16^{cc},49$ (expér. 62, 63), et ces expériences sont de nature à nous faire comprendre que l'azote dégagé provient tout simplement de l'atmosphère confinée dans les feuilles.

Qu'il y ait ainsi des gaz contenus dans ces organes, c'est là ce qui est établi par nombre d'observations dues aux botanistes et aux chimistes qui se sont occupés de la végétation. M. Barthélemy a tout récemment appuyé encore sur les résultats qu'il a obtenus en plaçant des feuilles dans l'acide carbonique, et il est probable que l'émission d'azote que nous avons constatée souvent, que l'absorption qui s'est présentée plus rarement, sont dues l'une et l'autre à un simple phénomène de diffusion.

Le dégagement de l'azote contenu dans les feuilles a été observé depuis longtemps, et a souvent été l'occasion d'importantes erreurs d'interprétation. On se rappelle que Th. de Saussure, dans ses mémorables expériences sur la végétation, a toujours trouvé qu'il apparaissait moins d'oxygène qu'il ne disparaissait d'acide carbonique, mais qu'il apparaissait du gaz azote, dont il n'a pas cherché à préciser l'origine : ce dégagement est con-

sidérable, on en jugera par le tableau suivant emprunté aux expériences de Saussure :

	Acide carbonique disparu.	Oxygène apparu.	Azote apparu.	Oxygène manquant.
Pervenche	431c.c.	292c.c.	139c.c.	139c.c.
Menthe aquatique	139	224	86	85
Salicaire	149	121	21	28
Pin	306	246	20	60
Cactus Opuntia	184	126	57	56

On voit que, dans cinq expériences sur quatre, le volume d'oxygène qui manque pour reproduire le volume d'acide carbonique disparu est précisément égal au volume d'azote apparu ; il semble qu'il y ait eu simplement substitution d'un gaz à l'autre, et que l'oxygène dominant dans l'atmosphère où séjournaient les feuilles se soit substitué à l'azote contenu dans leurs tissus.

Dans leurs expériences sur la décomposition de l'acide carbonique par les plantes marécageuses maintenues dans l'eau, MM. Cloëz et Gratiolet ont aussi trouvé que le gaz recueilli renfermait d'autant moins d'azote que l'expérience était plus prolongée, et, par suite, que l'atmosphère de l'eau se chargeait d'oxygène en se dépouillant d'azote. Il y a encore là sans doute un simple phénomène de diffusion des gaz au travers des membranes épidermiques des feuilles.

§ 15.

De la vie et de la mort des feuilles.

Nous avons laissé dans les expériences insérées au tableau V des feuilles pendant plusieurs jours dans une atmosphère dépouillée d'oxygène et à l'obscurité ; pendant ce temps ces feuilles ont continué d'émettre de l'acide carbonique, et, bien que la quantité formée en une heure soit un peu plus faible à la fin des expériences qu'au commencement, les différences ne sont pas cependant très-grandes, et l'on doit se demander si des feuilles mortes continuent d'émettre de l'acide carbonique à peu près avec la même énergie que des feuilles vivantes ; si, par suite, cette émission d'acide carbonique est seulement un

phénomène chimique qui n'a aucune relation avec la vie, ou si au contraire, au moment de la mort, la feuille cesse toute émission de gaz.

Pour résoudre cette question, il fallait tuer systématiquement les feuilles, afin de reconnaître comment elles agiraient après leur mort sur l'atmosphère ambiante, et d'abord il fallait avoir un criterium de la vie ou de la mort de la feuille.

Peut-on affirmer qu'une feuille est morte quand elle cesse de décomposer l'acide carbonique sous l'influence de la lumière? Il serait téméraire de l'affirmer, car le dégagement d'oxygène est lié à la fonction de nutrition, qui peut être suspendue sans que la mort s'ensuive immédiatement. Une plante plongée dans l'obscurité, qui vit aux dépens de sa propre substance, n'émet pas d'oxygène, et cependant est remplie de vie. On conçoit très-bien que la fonction de nutrition aux dépens de l'acide carbonique atmosphérique soit suspendue sans que la mort survienne immédiatement; on comprend même qu'un séjour prolongé dans un gaz asphyxiant ait altéré les cellules à chlorophylle, et que la décomposition de l'acide carbonique soit diminuée ou arrêtée, ainsi que l'a constaté M. Boussingault (1), sans que la mort en résulte fatalement. Un animal dont les organes digestifs cessent de fonctionner résiste cependant à la mort pendant plusieurs jours, et il en peut être de même des feuilles; aussi avons-nous dû chercher une autre méthode que celle que nous venons d'indiquer pour reconnaître si la feuille était morte ou vivante.

Quand on opère sur des aiguilles de Pin, on a quelque peine à saisir ce passage de la vie à la mort; mais il n'en est plus ainsi pour des feuilles plus délicates, telles par exemple que celles de *Begonia*. Nous avons laissé ces feuilles pendant vingt-quatre heures dans l'hydrogène pur, elles y ont émis une petite quantité d'acide carbonique; mais quand on les a retirées, elles étaient jaunes, flétries, elles avaient bien l'aspect d'un organe mort. Elles ont été alors renfermées, à l'obscurité, dans l'air ordinaire;

(1) *Chimie agricole*, t. IV, p. 329.

quand on les en a retirées, leur puissance d'absorption pour l'oxygène et d'élimination d'acide carbonique avait presque complétement disparu. En effet, on a laissé ces feuilles, après leur séjour dans l'hydrogène, quarante-huit heures dans l'air ordinaire; elles ont introduit, dans les $158^{cc},9$ où elles étaient plongées $0^{cc},64$ d'acide carbonique, en absorbant $1^{cc},5$ d'oxygène. Si nous rapportons ces nombres à 30^{gr} de feuilles et à une heure, nous trouvons $0^{cc},04$, c'est-à-dire un nombre environ trente fois inférieur à celui que donnent les aiguilles du Pin maritime, quand elles séjournent pendant quelques heures dans une atmosphère confinée. Dans une autre expérience, les feuilles de *Begonia* ont été asphyxiées par un séjour de quarante-huit heures dans l'acide carbonique, puis ont séjourné vingt-quatre heures dans l'air; mais si elles y ont abandonné un peu d'acide carbonique provenant sans doute de celui qui gorgeait leurs tissus, elles n'y ont fait aucune inspiration d'oxygène. Des feuilles de *Ficus elastica* désséchées par l'acide sulfurique à la température ordinaire absorbent l'oxygène et n'émettent de l'acide carbonique qu'en bien faible proportion; cependant l'absorption d'oxygène et l'émission d'acide carbonique n'étaient pas complétement anéanties. Ainsi, on peut conclure que lorsqu'une feuille est morte, elle cesse d'émettre de l'acide carbonique; que la fonction de respiration est celle qui s'éteint la dernière, et que la plante, comme l'animal, meurt quand elle ne respire plus. Il faut reconnaître toutefois que cette fonction persiste avec une singulière énergie, et que les phénomènes purement chimiques de la destruction par combustion lente se lient aux phénomènes vitaux de la respiration par une transition insensible.

On se rappelle que les feuilles de Pin ont été dans quelques-unes de nos expériences maintenues dans l'obscurité pendant une dizaine de jours, dans une atmosphère dépouillée d'oxygène; elles ont continué d'y vivre, puisqu'elles ont continué d'y émettre de l'acide carbonique, et nous sommes conduits à reconnaître une différence notable entre la résistance à l'asphyxie des plantes et celle de l'animal: tandis que celui-ci cesse d'émettre de l'acide carbonique quand il est privé d'oxygène libre pendant un

temps suffisant, qu'il meurt ainsi asphyxié rapidement, la feuille est capable de continuer à émettre de l'acide carbonique aux dépens de ses propres tissus pendant un temps relativement assez long.

L'activité vitale de la plante est liée au phénomène de combustion, comme l'activité vitale de l'animal ; mais tandis que l'un n'est capable de respirer qu'avec l'oxygène libre, la feuille continue d'émettre de l'acide carbonique dans une atmosphère dépouillée d'oxygène, et par suite forme l'acide carbonique aux dépens de ses propres tissus, en empruntant leurs éléments aux principes immédiats qu'elle renferme : il se produit dans une feuille soustraite à l'action de l'oxygène atmosphérique une sorte de combustion interne analogue à celle que la levûre de bière provoque dans la glycose qui se réduit en acide carbonique et en alcool.

Quelle est l'utilité de cette combustion, de cette production de chaleur qui paraît être la fonction capitale de la feuille, puisqu'elle se détruit elle-même pour l'accomplir ? Nous ne pouvons, en terminant, que revenir sur l'hypothèse déjà exposée plus haut, car la science ne nous fournit pas actuellement toutes les données nécessaires pour résoudre cette question capitale.

La feuille nous apparaît comme le laboratoire de la plante : c'est là que s'élaborent les principes immédiats qui, après diverses métamorphoses, servent à la formation des organes nouveaux. Le premier de ces principes, la glycose, se forme par la décomposition simultanée de l'acide carbonique et de l'eau déterminée par la chaleur lumineuse du soleil. Mais comment prennent naissance les autres matières plus compliquées qui en dérivent? comment la glycose donne-t-elle le sucre de canne, l'amidon, la cellulose ? comment se réduit-elle de façon à fournir les composés riches en carbone et en hydrogène, matières grasses, résines, essences, etc.? Comment les nitrates ou les sels ammoniacaux s'unissent-ils aux principes hydrocarbonés pour donner, après de nouvelles réductions, les albuminoïdes? Nous l'ignorons absolument ; toutefois il est vraisemblable que toutes ces métamorphoses exigent qu'une certaine quantité de chaleur

soit mise en jeu. Et de même que les corps dont nous pouvons facilement suivre les combinaisons dans le laboratoire ne s'unissent qu'autant qu'ils sont portés à une température suffisante, de même sans doute les métamorphoses qui se produisent dans les cellules n'ont lieu que lorsque la température s'y élève. Dans les conditions normales, cette élévation de température est due à une oxydation produite par l'oxygène atmosphérique; mais lorsque celui-ci fait défaut, il résulte de nos expériences que la feuille continue cette émission d'acide carbonique à l'aide de ses propres éléments : mais c'est là un changement de régime qui est peut-être la cause même de l'asphyxie et de la mort de la feuille. Pendant sa vie normale, elle fonctionne dans l'obscurité en employant l'oxygène de l'air à oxyder quelques-uns des principes qu'elle renferme, afin de produire la chaleur nécessaire à la formation des matières qu'elle doit élaborer. Tout à coup l'agent oxydant disparaît; si la fonction de respiration s'éteignait du même coup, la feuille périrait immédiatement en cessant de fonctionner. Il n'en est pas ainsi: elle résiste à l'asphyxie pendant plusieurs jours, en empruntant les éléments de l'acide carbonique à ses propres tissus; mais cette condition anormale ne peut se soutenir que pendant peu de temps, ses cellules meurent les unes après les autres, et son retour à l'air ne fait souvent que hâter sa décomposition finale.

CONCLUSIONS.

Des expériences décrites dans ce mémoire, nous croyons pouvoir tirer les conclusions suivantes :

1° Les quantités d'acide carbonique émises par les feuilles dans l'obscurité sont comparables à celles que produisent les animaux inférieurs (Grenouilles, Vers à soie, Hannetons, etc.).

2° Ainsi que l'avait observé M. Garreau, la quantité d'acide carbonique émise par les feuilles augmente avec l'élévation de la température à laquelle elles sont soumises.

3° La quantité d'oxygène absorbé par les feuilles surpasse la quantité d'acide carbonique produite; la différence est surtout

sensible aux basses températures, qui paraissent favoriser dans les plantes la formation de produits incomplétement oxydés, tels que les acides végétaux.

4° Les feuilles plongées dans une atmosphère dépouillée d'oxygène continuent d'y émettre de l'acide carbonique pendant plusieurs jours, aux dépens de leurs propres tissus; cette émission paraît ne cesser que lorsque toutes les cellules sont mortes. La résistance à l'asphyxie par absence d'oxygène varie singulièrement d'une espèce à l'autre.

5° Il est probable que la combustion lente qui prend naissance dans les feuilles produit la chaleur nécessaire à la formation des principes immédiats qui s'y élaborent. On remarque, en effet, que l'émission d'acide carbonique est favorisée par la chaleur obscure, qui exerce aussi une influence décisive sur la rapidité de croissance des plantes; tellement que les horticulteurs ont reconnu utile, depuis longtemps, de perdre une partie de la chaleur lumineuse que déverse le soleil, en maintenant les plantes sous des abris vitrés où se concentre au contraire la chaleur obscure.

RECHERCHES

SUR LA GERMINATION

PAR MM.

P. P. DEHÉRAIN.

Docteur ès sciences, aide-naturaliste de culture au Muséum d'histoire naturelle,

et

Ed. LANDRIN,

Licencié ès sciences, attaché au laboratoire de culture au Muséum d'histoire naturelle.

Les phénomènes qui accompagnent la germination peuvent être étudiés par deux méthodes différentes. Analyser une graine, déterminer non-seulement sa composition élémentaire, mais encore la proportion des différents principes immédiats qu'elle renferme; y développer la germination, puis recommencer sur la graine germée une nouvelle série d'analyses : tel est le premier mode d'opérer qui a été employé avec succès par plusieurs auteurs. M. Boussingault (1), M. Fleury (2), M. Peters (3), ont éclairé ainsi la germination des graines amylacées et des graines oléagineuses.

Ce procédé présente toutefois cet inconvénient, qu'il ne nous donne que des indications assez vagues sur le mécanisme même du phénomène et sur sa cause déterminante; et à ce point de vue le second mode de recherches dans lequel on s'efforce de reconnaître les modifications que subit l'atmosphère dans laquelle se produit la germination nous a paru préférable. Il a été d'abord employé par Huber et Senebier (4), Th. de Saussure (5), puis,

(1) *Annales de chimie et de physique*, 4e série, t. XIII, p. 219.

(2) *Ibid.*, t. IV, p. 5.

(3) Cité par M. Sachs, *Physique végétale*, p. 390.

(4) *Mémoire sur l'influence de l'air et de diverses substances gazeuses dans la germination.* Genève, 1801.

(5) *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 1.

plus récemment, par d'autres observateurs, notamment en Allemagne (1); et bien que ces expériences fournissent des indications précieuses, elles ne nous ont pas paru de nature à décourager de nouvelles recherches.

Notre travail est divisé en deux parties. Dans la première, nous avons étudié la germination dans l'air atmosphérique, en multipliant les essais et en examinant quelles modifications apportait à une atmosphère confinée le séjour plus ou moins prolongé des graines. Nous avons tenu compte notamment des changements que subit le volume du gaz mis en expérience, ce qui n'avait pas encore été fait avec une précision suffisante, et ce qui nous a conduits à plusieurs conclusions importantes sur les causes déterminantes des oxydations qui accompagnent la germination.

Dans la seconde partie de nos recherches, nous avons fait varier la nature des gaz dans lesquels les graines étaient placées: c'est ainsi que nous avons successivement opéré dans des mélanges d'oxygène et d'azote plus pauvres ou plus riches en oxygène que notre atmosphère; nous avons aussi employé des mélanges d'oxygène et d'hydrogène, d'oxygène et d'acide carbonique; enfin nous avons même laissé les graines se décomposer dans des atmosphères dépouillées d'oxygène, afin d'étudier d'une façon plus précise les gaz produits par leur altération.

Ces expériences nous ont conduits à étudier la diffusion des gaz au travers des membranes qui forment l'enveloppe de la graine; mais les résultats obtenus dans cette nouvelle recherche seront l'objet d'une autre publication.

§ 1er.

Mode d'opérer.

Les expériences ont toujours été conduites de la même façon. On mesurait sur le mercure, dans une cloche humide, une cer-

(1) Schultz, *Journ. für prakt. Chemie*, 1862. — J. Boehm, *Sitz. d. K. Akad. der Wiss.*, t. LVIII, 1er fascic.

taine quantité de gaz, d'air par exemple; on notait la température, la pression atmosphérique, puis à l'aide des formules connues on calculait le volume ainsi mesuré, en le supposant sec à 0° et à la pression de $0^m,760$. On introduisait alors les graines, en les plaçant avec de l'eau dans un tube assez large qu'on retournait sous la cloche. Les graines, suspendues dans la couche d'eau sur le mercure, étaient abandonnées dans cette atmosphère limitée pendant un temps qui a varié de deux jours à deux mois. Quand on voulait mettre fin à l'expérience, on mesurait le gaz sur le mercure, puis on emportait la cloche sur une cuve à eau, et l'on prélevait un échantillon de 20 à 25 centimètres cubes, dans lequel on dosait l'acide carbonique par la potasse, l'oxygène par l'acide pyrogallique. Quand l'expérience était de longue durée et qu'on pouvait croire à l'existence de gaz combustibles, on recherchait l'hydrogène bicarboné au moyen du brome. Pour cela, on faisait passer le gaz dépouillé d'acide carbonique et d'oxygène dans un flacon bouché à l'émeri, on y introduisait le brome placé dans un petit tube de verre et surmonté d'une couche d'eau; on agitait vivement, puis à l'aide de la potasse on s'emparait du brome mélangé au gaz; on faisait passer celui-ci dans un tube gradué et on lisait le volume restant. Cette recherche a été abandonnée après sept ou huit essais qui avaient été invariablement négatifs.

Le gaz restant était formé d'azote mêlé à des proportions variables d'hydrogène et d'hydrogène carboné; on en prélevait quelques centimètres cubes dans un petit tube entièrement rempli, puis on les faisait passer dans l'eudiomètre de Bunsen; on lisait la hauteur du mercure. On ajoutait de l'oxygène, on lisait encore la hauteur du mercure. On faisait passer le gaz de la pile, puis une étincelle pour déterminer la combustion; on laissait refroidir le gaz, et l'on prenait la hauteur quand deux lectures faites à une demi-heure d'intervalle donnaient exactement le même chiffre. On introduisait alors dans l'eudiomètre un petit bâton de potasse fixé à l'extrémité d'un fil de platine, on le retirait quand on ne voyait plus de changement dans le niveau du mercure; enfin on remplaçait la potasse par une bou-

lette de papier humide, fixée également à un fil de platine qu'on laissait séjourner jusqu'au moment où le gaz s'était de nouveau saturé de vapeur. Après avoir retiré la boulette humide, on notait la hauteur de la colonne mercurielle dans l'eudiomètre, maintenu vertical ; on lisait le baromètre, le thermomètre, et l'on procédait au calcul (1).

On a reconnu, à la suite d'une série d'expériences négatives, que l'hydrogène ne se dégageait qu'autant que les graines avaient consommé tout l'oxygène contenu dans l'atmosphère

(1) Nous donnerons comme exemple le détail de l'expérience n° 18, qui a duré du 3 juillet au 15 juillet, et qui a fourni les résultats les plus compliqués. La graine en germination était le Cresson alénois (*Lepidium sativum*).

Air employé, 100cc,6 ; tempér., 25° ; hauteur barom., 760mm.

Calcul du gaz à 0° et à 760mm.

Log 100,6	=	2,00259	760 — 23 = 737
Log 737	=	2,86746	
Log $1+\alpha t$	=	$\bar{1}$,96198	
Log 760	=	$\bar{3}$,11919	
		1,95122 = 89cc,7 renfermant	O... 17,87 ; Az.. 71,50

On a mis fin à l'expérience le 15 juillet ; les graines avaient germé, et probablemen commençaient à se décomposer.

Gaz après la germination, 104cc,4 ; tempér., 21° ; hauteur barom., 758mm.

Calcul du gaz après la germination.

Log 104,4	=	2,01879	758 — 18 = 740
Log 740	=	2,86923	
Log $1+\alpha t$	=	$\bar{1}$,96784	
Log 760	=	$\bar{3}$,11919	
		1,97496 = 94cc,39	

Dosage de l'acide carbonique et de l'oxygène.

	cc	
Gaz employé	95,6	
Après la potasse	77,2	CO^2 = 18cc,4
Après l'acide pyrogallique	77,2	O = 0

ambiante, de telle façon qu'on n'a procédé habituellement à l'analyse eudiométrique que lorsqu'il ne restait plus d'oxygène ou qu'il y en avait seulement des traces.

Pour épargner au lecteur la fatigue des résultats analytiques,

Calcul du volume d'acide carbonique.

$$\frac{95,6}{18,4} = \frac{104,4}{x} = 20,09$$

Log 20,09 = 1,30298
Log 740 = 2,86923
Log 1+αt = —1,96784
Log 760 = —3,11919

1,25924 = 18,16 = CO^2 à 0° et à 760mm.

Le gaz au contact du brome n'a subi aucune diminution = C^4H^4 = 0.

Analyse eudiométrique.

	c	cc
Après l'introduction du gaz, hauteur du mercure....	42,2	V = 37,6 (*)
Gaz et oxygène, hauteur du mercure.............	36,8	V = 49,2
Gaz après étincelle, hauteur du mercure..........	38,0	V = 46,6
Gaz après potasse et boulette, hauteur du mercure..	38,2	V = 46,2

Calcul de l'analyse eudiométrique.

Température, 21°; hauteur barométrique, 758mm.

Gaz employé $\frac{37,6 . 317,15}{760\ (1+\alpha t)}$ 758 — (422 + 18,5) = 317,5

Log 37,6 = 1,57518
Log 317,5 = 2,50174
Log 1+αt = —1,96784
Log 760 = —3,11919

Log...... 1,16395 = 14cc,58, volume du gaz mis dans l'eudiomètre.

Gaz employé mélangé à l'oxygène :

Log 49,2 = 1,69196 758 — (368 + 18,5) = 371,5
Log 371,5 = 2,56995
Log 1+αt = —1,96784
Log 760 = —3,11919

Log...... 1,34894 = 22cc,38, volume du gaz et de l'oxygène mis dans l'eudiomètre.

(*) On a pris beaucoup de gaz à cause de la faible proportion d'hydrogène à rechercher.

nous avons réuni tous nos nombres sous forme de tableau ; on a procédé pour le calcul comme il a été indiqué dans la note

Gaz après la détonation :

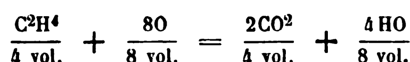
Log 46,6 =	1,66838	758 — (380 + 18,5) = 359,5
Log 359,5 =	2,55569	
Log $1+\alpha t$ =	$\bar{1}$,96784	
Log 760 =	$\bar{3}$,11919	
Log......	1,31110	= 20cc,47, volume du gaz après la détonation.
		22cc,38 — 20,47 = 1,91, volume disparu.

Gaz après l'action de la potasse et de la boulette humide :

Log 46,2 =	1,66464	758 — (382 + 18,5) = 357,5
Log 357,5 =	2,55327	
Log $1+\alpha t$ =	$\bar{2}$,96784	
Log 760 =	$\bar{3}$,11919	
	1,30494	= 20,18 20,47 — 20,18 = 0,29

Le volume de l'acide carbonique produit par la combustion étant égal à celui de l'hydrogène carboné C^2H^4, nous concluons que le gaz employé renfermait 0,29 de formène.

Le formène produit, au moment de sa combustion, un volume de vapeur d'eau double du sien, puisqu'on a l'équation



$$\frac{C^2H^4}{4\text{ vol.}} + \frac{8O}{8\text{ vol.}} = \frac{2CO^2}{4\text{ vol.}} + \frac{4HO}{8\text{ vol.}}$$

Il faut donc prélever sur le volume du gaz disparu au moment de l'étincelle 0cc,58 pour l'eau formée aux dépens du formène, 1,91 — 0,58 = 1,33, dont les deux tiers sont de l'hydrogène, $1,33 \times \frac{2}{3} = 0,88$. Les 14cc,58 employés à l'analyse renfermaient 0,29 de formène et 0,88 d'hydrogène, d'où l'on tire facilement que les 76,23 trouvés à la fin de l'analyse, après la soustraction de l'acide carbonique, en renfermaient : pour le formène $\frac{76,23,\ 0,29}{14,58} = 1,5$ et $\frac{76,23.0,88}{14,58} = 4,60$ pour l'hydrogène.

D'où enfin le tableau de l'analyse est le suivant :

Gaz au commencement de l'expérience (avant la germination à 0° et à 760mm) :

Air, 89cc,37 renfermant	Oxygène	17,87
	Azote	71,50

Gaz à la fin (après la germination et la décomposition à 0° et à 760mm) :

Gaz, 94cc,39 renfermant	Oxygène	0
	Acide carbonique	18,16
	Hydrogène	4,60
	Formène	1,51
	Azote	70,12
		94,39

ci-jointe ; tous les chiffres se rapportent à des gaz supposés secs à 0 degré et à 0m,760.

Tous nos tableaux comprennent les colonnes suivantes : numéros des expériences, nature de la graine mise à germer ; date du commencement de l'expérience, de la fin, d'où l'on conclut sa durée. Le volume du gaz introduit, sa composition, occupent les cinquième, sixième et septième colonnes ; le volume du gaz à la fin de l'expérience et sa composition occupent les cinq colonnes suivantes. Nous y indiquons l'oxygène, l'acide carbonique, l'hydrogène, le formène et l'azote ; la différence entre le volume au commencement de l'expérience et le volume à la fin, et une colonne d'observations, terminent le tableau.

PREMIÈRE PARTIE.

DE LA GERMINATION DANS L'AIR.

§ 2.

Expériences de courte durée.

En consultant le tableau I, le lecteur reconnaîtra que les expériences qui y sont consignées ont été habituellement interrompues très-rapidement, au moment même où les radicelles apparaissaient, quelquefois même avant qu'aucun signe de germination fût sensible ; dans ces conditions cependant l'action de la graine sur l'atmosphère ambiante est déjà des plus sensibles.

De la condensation des gaz dans la graine. — Aussitôt qu'on jette les yeux sur le tableau n° I, on reconnaît en effet que le volume du gaz, quand on met fin à l'expérience, est notablement inférieur à ce qu'il était au commencement. La diminution du volume a souvent été de 10 pour 100 ; et il se dégage de cette observation une conclusion importante qui paraît avoir échappé jusqu'à présent à la plupart des observateurs, à savoir,

TABLEAU I (1).

NUMÉROS des expériences.	NOMS des graines en expérience.	DATE du commencement de l'expérience.	DATE de la fin des expériences.	DURÉE.	GAZ AU COMMENCEMENT DE L'EXPÉRIENCE.			GAZ A LA FIN DE L'EXPÉRIENCE.				Gaz total absorbé —. Gaz total dégagé +.	OBSERVATIONS.
					Volume total.	Oxygène.	Azote.	Volume total.	Oxygène.	Azote.	Acide carbonique.		
1.	Blé.....	2 février 1874.	6 février.	3 jours.	97,70	20,32	77,38	88,58	10,0	72,15	6,43	— 9,12	Les graines commencent à germer.
2.	Id.....	Id.	Id.	Id.	97,70	20,32	77,38	86,61	9,79	70,55	6,27	—11,09	
3.	Lin.....	Id.	Id.	Id.	199,32	41,45	157,87	169,50	11,71	143,37	14,42	—29,82	
4.	Id.....	Id.	Id.	Id.	179,78	37,39	142,39	167,54	17,11	136,02	14,41	—12,24	
5.	Id.....	30 janvier.	2 février.	Id.	176,50	36,71	139,79	166,10	35,11	130,99	0	—10,4	
6.	Blé.....	Id.	Id.	Id.	95,92	19,95	75,97	87,93	17,61	69,24	1,08	— 7,99	
7.	Id.....	Id.	Id.	Id.	95,92	19,95	75,97	90,86	17,51	71,89	1,46	— 4,08	
8.	Lin.....	Id.	Id.	Id.	195,98	40,70	154,98	170,01	30,91	134,19	4,91	—25,67	
9.	Blé.....	12 novembre.	27 novembre.	15 jours.	96,0	20,0	76,0	92,8	16,2	75,0	1,6	— 3,2	
10.	Id.....	2 décembre.	11 décembre.	9 jours.	97,6	20,3	77,3	93,0	11,1	78,3	4,6	— 4,6	
11.	Colza....	Id.	Id.	Id.	97,6	20,3	77,3	88,8	6,7	76,1	6,0	— 8,8	
12.	Id.....	12 novembre.	27 novembre.	15 jours.	96,0	20,0	76,0	90,5	0,0	79,2	11,3	— 5,5	
13.	Cresson..	11 juin.	24 juin.	13 jours.	172,8	34,5	138,3	172,2	1,7	134,8	35,7	— 0,6	

(1) L'expérience enseigne qu'il n'y a jamais d'hydrogène dans les expériences interrompues au moment où il reste encore de l'oxygène dans l'atmosphère ambiante; en outre, on n'a pas pu constater la présence de ce gaz dans les expériences 12 et 13, de telle sorte qu'on n'a pas ménagé dans ce tableau de colonne pour l'hydrogène.

qu'au commencement de la germination les graines absorbent les gaz à la façon des corps poreux.

Nous voyons en effet que, dans quelques-unes de nos expériences, 2 ou 3 grammes de graines ont absorbé 9, 10, 20, 30 centimètres cubes de gaz ; or, il est impossible de découvrir dans la graine aucun espace dans lequel ce gaz puisse se loger. Enfin, quand on soumet les graines à l'action du vide, on ne peut en dégager les gaz ; d'où il faut conclure qu'ils y sont condensés comme le sont l'hydrogène dans la mousse de platine, le gaz de l'éclairage dans le palladium, les gaz ammoniac, chlorhydrique, etc., dans le charbon. Or, au moment où cette contraction a lieu, il y a un dégagement de chaleur considérable. M. Favre est revenu récemment sur la détermination de la chaleur mise en jeu pendant cette contraction des gaz dans le charbon, et il n'est pas douteux que ce dégagement de chaleur ne se produise également quand les gaz atmosphériques se condensent dans la graine, et d'après nous, c'est précisément ce dégagement de chaleur qui élève suffisamment la température de l'oxygène occlus dans la graine, pour qu'il commence à exercer son action comburante.

Les gaz condensés dans une graine dont l'enveloppe est ramollie par l'eau y sont portés à une température élevée, comme ils le sont dans la célèbre expérience du briquet à air, où l'air, violemment comprimé, s'échauffe suffisamment pour enflammer l'amadou. Tant que le testa est intact, que les gaz y peuvent pénétrer par diffusion, ils s'accumulent dans la graine, ils s'y contractent ; la température s'y élève, et le phénomène d'oxydation commence. Dès lors l'ébranlement est donné à toute la masse et le phénomène de combustion se continue ; tout l'oxygène introduit se métamorphose en acide carbonique ou s'unit aux principes immédiats pour donner des produits fixes. Mais lors même qu'il a complétement disparu, le dégagement d'acide carbonique persiste ; nous voyons en effet, dans les expériences de longue durée (tableau n° III), que la quantité d'acide carbonique émise est très-supérieure à la quantité d'oxygène introduite. La continuation de ce phénomène d'oxydation aux dépens

même des éléments de la graine est analogue à celle qu'on observe dans la fermentation alcoolique, où il y a production d'acide carbonique et dégagement de chaleur en l'absence d'oxygène libre.

Insistons donc sur ce point qui nous paraît capital, puisqu'il nous dévoile le mécanisme du phénomène qui détermine le commencement de l'évolution de la graine. Tant que ses enveloppes sont sèches, tant qu'elles n'ont pas été ramollies par l'eau, elles paraissent presque imperméables aux gaz (1), et la vie reste à l'état latent; mais aussitôt que l'eau intervient et que le testa est devenu perméable, les gaz pénètrent dans les tissus et s'y condensent. Cette condensation est accompagnée d'un dégagement de chaleur considérable, qui excite les propriétés actives de l'oxygène, le phénomène de combustion commence; et dès lors la vie, qui sommeillait dans la graine, s'y éveille, les principes immédiats nécessaires à la formation des organes nouveaux prennent naissance, et ceux-ci ne tardent pas à s'élancer hors de leurs enveloppes.

Le phénomène de condensation des gaz dans les graines a donc une extrême importance, et nous devons l'étudier dans tous ses détails.

Sur la nature du gaz qui pénètre dans la graine. — Les observations précédentes nous démontrent que les gaz atmosphériques sont susceptibles de traverser le testa d'une graine; mais il reste à rechercher si cette pénétration s'accomplit indifféremment pour l'un et l'autre gaz atmosphérique, ou bien si l'oxygène pénètre plus rapidement que l'azote. Pour le reconnaître, nous avons noté la quantité d'oxygène disparu de l'atmosphère extérieure, nous avons calculé le volume d'azote qui aurait dû disparaître s'il était entré de l'air atmosphérique, puis nous avons comparé ce volume de l'azote à celui qui a disparu en réalité. Les résultats de ce calcul sont exposés dans le tableau suivant :

(1) Nous verrons cependant plus loin que beaucoup de graines renferment normalement un peu d'azote libre.

TABLEAU II.

NUMÉROS des expériences.	VOLUME en centimètres cubes d'oxygène absorbé par les graines.	VOLUME en centimètres cubes d'azote absorbé par les graines.	VOLUME en centimètres cubes de l'azote qui aurait été absorbé par les graines si l'air normal eût traversé le testa.	DIFFÉRENCE entre le volume d'azote entré et celui qui fût entré si l'air normal eût traversé le testa.
1.	10,3	5,2	38,3	33,1
2.	10,5	6,8	40,0	31,2
3.	29,7	6,3	113,0	106,7
4.	20,2	6,3	79,2	72,9
5.	1,6	8,8	6,1	—2,7
6.	2,3	6,5	8,8	2,3
7.	2,4	4,1	8,7	4,6
8.	9,8	20,8	37,2	16,4
9.	3,8	1,0	14,4	13,4
11. (1)	13,6	1,2	15,7	50,3

L'étude des résultats précédents présente un intérêt particulier. Depuis les belles études de Graham sur la diffusion des gaz, nous savons que la vitesse de passage varie singulièrement, suivant que le septa qui doit être traversé est poreux ou d'une structure colloïdale, et l'analyse des phénomènes de passage de l'oxygène et de l'azote au travers du testa de la graine pourra peut-être nous éclairer sur sa structure, si les oxydations qui se produisent dans la graine, quand les gaz y ont pénétré, n'apportent pas de perturbations assez importantes pour masquer le phénomène.

On se rappelle que Graham a fait voir que l'oxygène passait au travers du caoutchouc, qu'il considère comme ayant une structure colloïdale, plus vite que l'azote ; tellement que si d'un côté de la membrane se trouve de l'air atmosphérique, on recueille après le passage de l'autre côté de la membrane un gaz renfermant plus de 40 pour 100 d'oxygène. Si au contraire de l'air doit traverser un corps poreux, il s'appauvrira en oxygène, puisque la vitesse avec laquelle les deux gaz franchiront le corps poreux est inversement proportionnelle à la racine carrée des densités.

Si nous examinons le tableau n° I, nous reconnaissons que

(1) L'expérience 10 ne figure pas dans ce tableau parce qu'elle a donné un dégagement d'azote.

l'expérience n° 5 est particulièrement favorable à notre étude, puisqu'elle a présenté une condensation de gaz importante de $10^{cc},4$, et que cependant elle a été arrêtée avant qu'il y ait eu le moindre dégagement d'acide carbonique. Or, si nous recherchons comment les gaz ont pénétré, nous trouvons qu'il est entré plus d'azote qu'il n'eût dû en pénétrer en réalité, si l'air atmosphérique eût conservé au passage sa composition normale : en effet, pour 1,6 d'oxygène il aurait dû passer 6,1 d'azote, et nous voyons qu'il en a pénétré 8,8 ; le testa a donc agi ici à la façon d'un corps poreux laissant passer plus rapidement un gaz léger qu'un gaz lourd.

Si l'on examine au contraire les autres expériences insérées au tableau n° II, on voit que dans toutes la quantité d'oxygène absorbé est infiniment supérieure à la quantité d'azote, et que, par suite, ce n'est pas l'air normal qui a traversé le testa, mais que l'oxygène a pénétré beaucoup plus facilement que l'azote. En faudrait-il conclure que le testa exerce une action dialytique sur les deux gaz oxygène et azote, et agit à la façon du caoutchouc dans la célèbre expérience de Graham ; que tandis que l'oxygène pénètre facilement, l'azote est en quelque sorte repoussé et n'entre que très-faiblement, et arriver ainsi à une conclusion diamétralement opposée de celle qu'on eût tirée de l'expérience n° 5. On ne saurait admettre que le testa exerce une semblable action ; en effet, supposons un instant que l'oxygène ait pénétré dans la graine en même temps que de l'azote et que les deux gaz soient d'abord dans les proportions de l'air, ils vont exercer des actions bien diverses : tandis que l'azote inerte se conserve au contact des tissus sans en éprouver de modification, l'oxygène exerce son action oxydante, il brûle les principes immédiats pour former de l'acide carbonique, par suite il est partiellement remplacé par le nouveau gaz qui vient troubler l'équilibre établi d'abord ; la proportion d'oxygène contenue dans la graine est diminuée, puisqu'une partie est métamorphosée en acide carbonique, et l'on conçoit que la tendance à la diffusion que possèdent les gaz détermine la pénétration d'une nouvelle proportion d'oxygène en remplacement de celui qui a été métamorphosé

en acide carbonique, et qui, au reste, s'échappe bientôt au dehors.

En outre, il est probable qu'une partie de l'oxygène est fixée dans la graine par suite d'oxydations incomplètes ; par suite, il disparaît de l'atmosphère confinée dans les tissus, et une nouvelle quantité de gaz vient le remplacer.

Les expériences 1, 2, 3, 4 ne sont donc pas en contradiction avec la conclusion que nous avons tirée de 5 relativement à la nature du testa de la graine; on conçoit facilement cependant que nous ne donnions ces premières conclusions que sous toute réserve, puisqu'elles ne reposent que sur une seule expérience. Un travail en préparation au *Laboratoire de Culture* sur le passage des gaz au travers de diverses membranes végétales nous permettra prochainement de revenir sur ce sujet.

Rapport de l'oxygène absorbé et de l'acide carbonique émis. — L'examen du tableau n° I nous conduit encore à quelques résultats importants sur l'action qu'exerce l'oxygène sur les principes immédiats contenus dans la graine. L'oxygène disparu surpasse toujours l'acide carbonique dégagé. Nous observons un effet tout autre dans les expériences de longue durée; là au contraire l'acide carbonique apparaît en grand excès ; mais comme dans ces expériences les graines séjournent dans une atmosphère privée d'oxygène, on ne peut plus les considérer comme dans des conditions normales, et les expériences du tableau n° I ont un plus grand intérêt, puisque les graines s'y trouvent dans une atmosphère analogue à celle qui existe dans le sol. Que devient l'oxygène qu'on ne retrouve pas dans l'acide carbonique? On conçoit certainement que dans les premiers jours de germination il soit condensé dans les tissus comme l'azote lui-même, mais il ne persiste guère dans cet état, puisque l'acide carbonique qu'il produit apparaît après quelques jours; il doit donc ou donner de l'eau en brûlant l'hydrogène de quelques-unes des matières organiques, ou encore se fixer sur ces matières organiques et les métamorphoser plus ou moins complétement. La plupart des composés non azotés qui existent dans les graines amylacées sont des hydrates de carbone, de telle sorte que leur hydrogène peut être

considéré comme entièrement brûlé, et que l'oxygène ne peut que les détruire complétement en leur enlevant du carbone qui est métamorphosé en acide carbonique, ou se fixer sur eux pour donner des acides. Dans les graines oléagineuses les choses peuvent se passer autrement : une grande quantité d'oxygène peut se fixer sur l'huile pour former avec elle des composés incomplétement brûlés, surtout quand la graine en expérience renferme une huile siccative comme la graine de lin ; on observe particulièrement cette fixation d'oxygène dépassant la production d'acide carbonique dans l'expérience 3, où 29,7 d'oxygène ont disparu, tandis qu'il n'est apparu que $14^{cc},42$ d'acide carbonique; ce même effet est aussi très-sensible dans l'expérience 23, où 19^{cc} d'oxygène ont disparu et n'ont formé que $2^{cc},6$ d'acide carbonique.

L'oxygène agit également sur les matières azotées, et il détermine la formation de l'asparagine, qui existe en quantité si notable dans les graines germées. Dans un mémoire dont la traduction sera prochainement insérée aux *Annales*, M. Pfeffer (1) compare la composition de l'asparagine à celle de la légumine qui existe dans les graines des Papilionacées qu'il a particulièrement étudiées; il fait remarquer que la légumine, qui, pendant la germination, se métamorphose en asparagine, ne le peut faire qu'à la condition de perdre du carbone, qui disparaît sans doute sous forme d'acide carbonique; de l'hydrogène, qui s'unit à l'oxygène libre pour donner de l'eau, qu'en fixant, enfin, une certaine quantité d'oxygène. On conçoit donc que, dans la germination d'une graine de cette espèce, il disparaisse une certaine quantité d'oxygène qu'on ne retrouve plus sous forme d'acide carbonique, puisque cet oxygène a été fixé sous forme d'eau et a pénétré en outre dans la constitution d'un principe immédiat nouveau, l'asparagine ; et comme cette matière paraît enfin se former dans la plupart des graines en germination, il est probable qu'une fraction de l'oxygène disparu qu'on ne retrouve pas à l'état d'acide carbonique a été fixée par les principes albuminoïdes au moment où ils forment de l'asparagine.

(1) *Bot. Zeit.*, 1874, n° 14.

§ 3.

Expériences de longue durée.

Quand, au lieu de laisser pendant quelques jours seulement les graines dans une atmosphère limitée, on les y maintient pendant huit à dix jours en été, quinze jours et plus en hiver, les phénomènes sont complétement différents des précédents. On le reconnaîtra nettement en examinant le tableau n° III, qui donne les résultats des expériences entreprises dans ces nouvelles conditions.

Le volume, au lieu de diminuer, augmente toujours; on voit en effet que les nombres placés dans la dernière colonne sont tous marqués du signe +. Cette augmentation est parfois très-considérable (voyez notamment l'expérience n° 16, où 90cc,9 sont devenus 117cc,8, avec une augmentation de 26cc,9). Ainsi les gaz, au lieu de s'accumuler dans la graine, s'en dégagent, et l'augmentation est due à la fois à de l'acide carbonique, à de l'azote, à de l'hydrogène et même à du formène.

Dégagement d'acide carbonique. — Dans les expériences de courte durée étudiées dans le paragraphe précédent, nous avons vu que l'acide carbonique dégagé ne formait pas un volume égal à celui de l'oxygène disparu; le gaz oxygène avait pénétré dans la graine, s'y était condensé, et une partie seulement s'était exhalée sous forme d'acide carbonique, après avoir déterminé le commencement de la combustion.

Ce dégagement d'acide carbonique est beaucoup plus abondant dans les graines amylacées que dans les graines oléagineuses; l'huile contenue dans celle-ci paraît fixer définitivement de l'oxygène qui ne se métamorphose pas en acide carbonique (dans l'expérience 19, de très-longue durée, l'acide carbonique formé est inférieur à l'oxygène introduit).

Quand l'expérience se prolonge, le dégagement d'acide carbonique se continue : non-seulement tout l'oxygène disparaît, mais encore les éléments de la graine eux-mêmes réagissent les uns

TABLEAU III.

NUMÉROS des expériences.	NOMS des graines en expérience.	DATE du commencement de l'expérience.	DATE de la fin de l'expérience.	DURÉE.	GAZ AU COMMENCEMENT DE L'EXPÉRIENCE.			GAZ A LA FIN DE L'EXPÉRIENCE.					Gaz absorbé — Gaz dégagé +	OBSERVATIONS.
					Volume total.	Oxygène.	Azote.	Volume total.	Oxygène.	Azote.	Acide carbonique.	Hydrogène.		
					cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	
12.	Blé.....	28 mars 1873.	1er avril 1873.	4 jours.	90,9	18,9	72,0	104,6	1,5	85,1	17,9	»	+13,7	Germination.
13.	Id......	Id.	10 avril.	13 jours.	90,9	18,9	72,0	105,4	»	72,9	32,2	0,3	+14,5	Id.
14.	Id......	Id.	18 avril.	21 jours.	90,9	18,9	72,0	108,8	»	75,7	32,3	0,8	+17,9	Id.
15.	Id......	Id.	Id.	Id.	90,9	18,9	72,0	111,4	»	76,8	32,6	2,0	+20,5	Id.
16.	Id......	Id.	24 avril.	27 jours.	90,9	18,9	72,0	117,8	»	74,0	37,9	5,9	+26,9	Id.
17.	Colza....	12 novembre.	27 novembre.	15 jours.	96,0	20,0	76,0	97,5	»	79,2	18,3	»	+ 1,5	Id.
18.	Cresson..	3 juillet.	15 juillet.	12 jours.	89,3	17,8	71,5	94,4	»	70,1	18,2	4,6*	+ 5,1	Id.
19.	Colza ...	2 décembre.	29 janvier.	58 jours.	97,6	20,3	77,3	101,7	»	81,4	16,6	3,7	+ 4,1	Id.
20.	Blé.....	Id.	Id.	Id.	97,6	20,3	77,3	117,3	»	85,6	31,7	traces	+19,7	Id.

* Formène, 1,5.

sur les autres et affectent des formes plus simples; l'acide carbonique dégagé surpasse de beaucoup celui qui aurait pu se former à l'aide de l'oxygène existant dans le volume primitif du gaz employé à l'expérience. Cette combustion semble se continuer pendant un temps assez long après que tout l'oxygène a disparu, car nous voyons que la quantité d'acide carbonique formé est d'autant plus grande que l'expérience a été de plus longue durée (exp. de 12 à 16).

Dégagement d'hydrogène. — On a vu que dans les expériences du premier tableau, il n'est jamais apparu d'hydrogène; mais on remarquera que toutes ces expériences, sauf 10 et 11, ont été arrêtées quand il restait encore de l'oxygène dans l'atmosphère ambiante. Au contraire, nous voyons dans les expériences du tableau n° II, tantôt des quantités notables d'hydrogène, tantôt au contraire, bien que les expériences aient été de longue durée et que tout l'oxygène eût disparu, il a été impossible de constater la présence de ce gaz. Ainsi l'hydrogène n'accompagne pas fatalement la décomposition de la graine, et, de plus, nous le répétons, tant que les graines sont dans des conditions normales, tant qu'elles se trouvent dans une atmosphère oxygénée, elles n'émettent pas d'hydrogène; celui-ci n'apparaît qu'autant que l'oxygène a disparu, que les graines meurent et se décomposent: tels ont été au moins les résultats que nous avons toujours observés. Cependant M. Schultz considère l'hydrogène comme un produit normal de la germination (1); il l'a rencontré dans des expériences où l'atmosphère entourant les graines présentait encore des quantités notables d'oxygène, et où il s'était formé plus d'acide carbonique que n'en aurait dû donner l'oxygène introduit : ce qui est tout à fait contraire à ce que nous avons observé nous-mêmes, bien que nous ayons opéré plusieurs fois sur le Cresson, comme l'a fait M. Schultz. A quoi tiennent ces divergences? Nous l'ignorons; nous ne pouvons que répéter que dans nos expériences le dégagement d'hydrogène n'a eu lieu que lorsque tout l'oxygène a disparu, et il a été toujours accom-

(1) *Journ. für prakt. Chemie*, 1862.

pagné par le dégagement d'une quantité considérable d'acide carbonique provenant des éléments mêmes de la graine. Nous considérons donc l'hydrogène non comme un produit normal de la germination, mais seulement comme un produit morbide provenant de la décomposition de la graine (1).

Dégagement des carbures d'hydrogène. — Dans tous nos premiers essais nous avons recherché l'éthylène au moyen du brome; tous ces essais ont été négatifs, de telle sorte qu'on ne peut pas considérer ce gaz comme un produit ordinaire de la décomposition des graines. Le formène est lui-même assez rare; nous ne l'avons constaté avec certitude que dans trois expériences exécutées pendant les chaleurs de l'été. La température à laquelle a lieu la décomposition des graines ne paraît pas, au reste, être sans influence sur la nature des gaz dégagés : c'est ainsi que, pendant l'hiver de 1873-1874, des graines mises à germer et laissées pendant près de deux mois sous les cloches ont absorbé tout l'oxygène qui était à leur disposition, mais n'ont pas donné traces d'hydrogène; tandis que les mêmes graines (Blé), mises en expérience en avril 1873, par suite à une température sensiblement plus élevée, ont donné seulement de l'hydrogène et pas d'hydrogène carboné; celui-ci n'a apparu que dans les expériences exécutées en juin et juillet.

Dégagement de l'azote.— Nous avons vu, dans le paragraphe précédent, que des graines mises en germination dans une atmosphère limitée absorbaient d'abord une quantité de gaz notable, et que ce gaz était formé d'oxygène et d'azote ; après quelques jours, les phénomènes changent de sens : les gaz se dégagent, le volume total augmente, et cette augmentation est due non-seule-

(1) Nous avons eu occasion de constater que lorsqu'on laisse du gluten se décomposer dans une quantité limitée d'air atmosphérique, il apparait de l'hydrogène avant que tout l'oxygène ait été pris; par conséquent il est possible que dans certaines conditions de décomposition des graines, l'hydrogène apparaisse avant l'absorption complète de l'oxygène, comme dans l'expérience de M. Schultz. Mais dans les observations précédentes le gluten était altéré, par suite l'hydrogène était encore dû à un produit de décomposition.

ment à de l'acide carbonique, mais encore à une quantité notable d'azote (voyez not. l'exp. 12). Nous reconnaîtrons plus tard que ce dégagement d'azote se manifeste dans les conditions les plus variées, quand les graines séjournent dans l'air, aussi bien que dans l'hydrogène, dans l'oxygène pur ou dans l'acide carbonique ; la question est donc importante et mérite une discussion spéciale.

§ 4.

De l'origine de l'azote dégagé pendant la germination.

Pour expliquer l'apparition d'azote qu'on observe quand les expériences sont prolongées pendant un temps assez long, on ne peut avoir recours qu'aux deux hypothèses suivantes : ou bien l'azote provient du gaz introduit accidentellement dans la graine exposée à l'humidité pendant un temps très-court, puis soumise à une dessiccation ultérieure ; ou bien il provient de la décomposition des principes azotés. Examinons ces deux hypothèses.

Dans les germinations régulières l'azote dégagé ne provient pas de la décomposition des matières azotées. — Nous l'avons rappelé au commencement de ce mémoire, M. Boussingault a étudié la germination en soumettant à l'analyse les graines normales, puis les graines semblables munies de leurs radicelles, après que cette germination a eu lieu ; il résulte de ses analyses que pendant la germination, il n'y avait aucun dégagement d'azote, c'est-à-dire qu'on retrouvait dans la graine germée tout l'azote qui existait en combinaison dans la graine normale.

Si les matières albuminoïdes se décomposaient pendant la germination, il n'en aurait pas été ainsi ; on aurait trouvé dans les graines germées moins d'azote que dans les graines normales, et c'est ce que M. Boussingault n'a pas trouvé. Il était donc probable, d'après les expériences, que l'azote ne provenait pas d'une décomposition de ces matières azotées.

Il est remarquable, en outre, que ce dégagement d'azote est

loin d'être constant : ainsi les expériences sur le Blé (n°s 12, 13, 14, 15, 16) l'accusent nettement, mais très-irrégulièrement; dans un cas il y a 13 centimètres cubes d'azote dégagé, dans un autre $0^{cc},9$, dans un autre $3^{cc},7$; dans l'expérience 15, $4^{cc},8$, et enfin, dans l'expérience n° 16, 2 centimètres cubes; enfin, les expériences 13, 18, exécutées sur le Cresson, montrent qu'il y a eu au contraire absorption de ce gaz. Si l'azote provenait de la décomposition des matières albuminoïdes, cette décomposition devrait se produire avec constance, comme se produit la combustion lente qui s'accuse par un dégagement d'acide carbonique, d'autant plus abondant que l'expérience se prolonge pendant plus longtemps : il y avait donc dans ces remarques un indice que l'azote pouvait être accidentel et pouvait se dégager pendant le phénomène de la germination, au moment où les enveloppes des graines se déchirent peu à peu.

Toutefois, pour éclairer complétement les faits précédents, nous avons employé une méthode qui devait nous conduire sûrement à la solution; nous avons dosé l'azote contenu dans les graines par deux méthodes différentes, l'une nous donnant l'azote total, l'autre seulement l'azote combiné.

On sait, en effet, qu'on peut doser l'azote contenu dans une matière organique en la brûlant à l'aide de l'oxyde de cuivre; en prenant des précautions convenables, tout l'azote, quelle que soit son origine, se dégage à l'état de pureté, et il est clair qu'en introduisant dans les tubes à combustion les graines entières, nous devions en extraire, non-seulement le gaz provenant de la destruction des combinaisons azotées, mais encore celui qui avait été introduit fortuitement pendant le ramollissement de la graine sous l'influence de l'humidité. En dosant au contraire l'azote par le procédé de M. Peligot, basé sur l'emploi de la chaux sodée et des liqueurs titrées, on obtient seulement l'azote des matières organiques; celui qui existerait dans la graine à l'état de gaz libre échappe complétement, et si les deux nombres sont en désaccord, c'est la preuve qu'il existe dans les graines de l'azote à l'état libre.

Nous avons donc procédé à ces deux séries d'analyses pour

un certain nombre de graines (1), et nous avons obtenu des nombres très-différents l'un de l'autre, ainsi qu'on le verra par la

(1) Le dosage de l'azote par la chaux sodée est tellement facile, qu'il n'est pas besoin d'insister sur sa pratique. Quant au dosage en volume, il a été fait avec beaucoup de soins. On a fait le vide dans le tube après l'introduction des matières nécessaires au dosage, puis on a chauffé le bicarbonate de soude jusqu'au moment où il s'est dégagé de l'acide carbonique; on a encore refait le vide une seconde fois, puis on a chauffé de nouveau le bicarbonate de soude, et quand le gaz a commencé à se dégager, on a fait le vide une troisième fois; puis on a soudé l'extrémité du tube fixé à la pompe en fondant le verre sur lui-même. Comme le mercure est resté soulevé au moment de la fermeture, on a été assuré qu'il ne rentrait pas d'air.

Quand le dégagement des gaz a cessé, après l'épuisement du bicarbonate de soude, on a recueilli le gaz, on l'a agité avec de la potasse, puis avec du sulfate de fer; enfin on a pris un échantillon qu'on a fait détoner dans l'eudiomètre, de façon à être certain qu'il n'était pas mêlé de gaz combustible.

On a commencé les essais par le dosage de l'azote à l'aide de ces deux méthodes sur une matière d'une composition constante, la quinine : on a trouvé par le procédé Peligot, 8,1 d'azote, et par le procédé de la combustion, 7,9. Les deux nombres étaient suffisamment rapprochés pour qu'on fût certain de ne pas commettre d'erreur grave; on soumit donc à ces deux méthodes de recherches plusieurs espèces de graines.

On a ainsi obtenu :

Analyse n° 1. — Blé, $0^{gr},400$. — Tempér., 13°; hauteur barom., 764^{mm}.

Dosage en volume :

Azote recueilli, $13^{cc},2$.

A 0° et à 760^{mm}, azote, $12^{cc},4$, pesant $0^{gr},0155$, ou 3,87 pour 100 d'azote total.

Analyse n° 2. — Blé, $0^{gr},835$. — Procédé Peligot.

144 divisions de potasse correspondent à $0^{gr},166$ d'azote.

On sature avec 134 divisions.

10 divisions correspondent à $0^{gr},0115$ d'azote.

D'où 1,37 pour 100 d'azote combiné ;

d'où azote gazeux 3,87 — 1,37 d'azote combiné = 2,5 d'azote libre dans la graine.

Analyse n° 3. — Graine de Lin. — Tempér., 13°; hauteur barom., 773^{mm}.

Poids des graines, 1 gramme.

Azote recueilli, $48^{cc},5$.

Azote à 0° et à 760^{mm} = 46,4 = $0^{gr},058$.

D'où 5,8 pour 100 d'azote total.

note ci-jointe. On reconnaîtra qu'il y a dans les graines d'Orge, de Blé, de Lin, une certaine quantité d'azote libre qui sans doute

Analyse n° 4. — Graine de Lin. — Procédé Peligot. — Dosage à l'état d'ammoniaque.
Azote, 3,30 pour 100.

Analyse n° 5. — Graine de Lin. — Procédé Peligot.
Dosage à l'état d'ammoniaque.
Azote, 3,31 pour 100.

Analyse n° 6. — Graine de Lin.
Dosage en volumes.
Poids des graines, $0^{gr},725$.
Azote à 15° et à 761^{mm}, $36^{cc},4$.
Azote à 0° et à 760^{mm}, 34 cent. cub.
D'où $0^{gr},0427$ d'azote,
d'où 5,9 pour 100 d'azote.

Analyse n° 7. — Graine de Lin.
Dosage en volumes.
Poids des graines, $0^{gr},500$.
Azote recueilli à 10° et à 760^{mm} = $21^{cc},0$.
Azote à 0° et à 760^{mm} = $20^{cc},1$.
D'où azote, $0^{gr},025$,
d'où 5,0 pour 100 d'azote.

Résumé des expériences sur la graine de Lin.

	Azote en volumes.		Azote à l'état d'ammoniaque.
Analyse n° 3....	5,8	Analyse n° 4....	3,30
Analyse n° 6....	5,9	Analyse n° 5....	3,31
Analyse n° 7....	5,0		3,3
	16,7		

$$\frac{16,7}{3} = 5,5 - 3,3 = 2,2$$ d'azote libre dans la graine.

Analyse n° 8. — Cresson alénois. — Dosage à l'état d'ammoniaque.
$0^{gr},500$ de graines.
Azote, 4,61 pour 100.

Analyse n° 9. — Cresson alénois. — Dosage à l'état d'ammoniaque.
1 gram. de graines.
Azote, 4,61 pour 100.

a pu pénétrer au moment même de la formation de la graine, quand ses enveloppes sont encore tendres et perméables au gaz. Bientôt, à mesure que la maturation avance, ces enveloppes deviennent imperméables, elles se sèchent, et les gaz cessent de pénétrer, à moins que les graines restent soumises sur le sol après la moisson à une humidité persistante, auquel cas les enveloppes ramollies laissent pénétrer les gaz, et bientôt de longs jets s'élançant des graines annoncent que la germination a eu lieu.

Analyse n° 10. — Cresson alénois. — Dosage à l'état d'azote gazeux.

1 gramme de graines.

Azote recueilli, $39^{cc},6$ à $14°$ et à 763^{mm} — f.

Azote à 0° et à 760^{mm}, $37^{cc},23$.

D'où azote 0,046,

d'où 4,6 pour 100.

Analyse n° 11. — Orge normale. — Dosage de l'azote en volumes.

Poids des graines, 1 gramme.

Azote recueilli, 25 cent. cub., à 767,2 et à 10°.

$24^{cc},0$ = Azote à 0° et à 760^{mm}, d'où 2,88 pour 100.

On a mis ensuite à germer 1 gramme de graines semblables, de façon à reconnaître si le volume de l'azote occlus aurait diminué, ainsi qu'on l'a observé plusieurs fois pour les expériences durant plusieurs jours (voy. tableau III); on a fait ensuite le dosage.

Analyse n° 12. — Orge après germination.

Poids des graines avant la germination, 1 gramme.

Azote recueilli, $12^{cc},3$ à $9°,5$ et à 770 — f.

Azote à 0° et 760^{mm}, $9^{cc},9$.

1,18 pour 100.

Analyse n° 13. — Orge normale, par le procédé de M. Peligot.

Poids de l'orge, $0^{gr},995$.

Azote, 1,39 pour 100.

En résumé, on reconnaît, en comparant ces analyses, que, dans le Blé, dans la graine de Lin, dans l'Orge, on a trouvé plus d'azote quand on a recueilli ce corps à l'état gazeux que lorsqu'on a cherché l'azote combiné par la chaux sodée. Il faut donc conclure qu'il y a de l'azote libre dans ces graines; que, par suite, les nombres insérés au tableau III, accusant un dégagement d'azote, doivent être rapportés à cet azote gazeux et non à une décomposition des matières albuminoïdes. Il est remarquable, au reste, que le Cresson alénois, qui ne renferme pas d'azote à l'état libre (analyses 8, 9, 10 de la note), n'en ait pas dégagé pendant la germination (expérience 18).

En résumé, les expériences consignées dans les tableaux I et II nous font voir que les gaz se condensent dans la graine au moment où la germination commence; celles du tableau III nous font assister à l'expulsion de ces gaz occlus pendant les premiers jours de la germination; enfin les dosages d'azote nous démontrent l'existence dans les graines des gaz qui y ont pénétré; et ces trois séries d'expériences nous montrant les gaz pénétrant dans la graine, contenus dans ses tissus, en sortant, mettent hors de doute l'existence des gaz confinés dans la graine, et établissent que la cause qui détermine le commencement du phénomène de germination est l'élévation de température qui résulte de la pénétration des gaz au travers du testa ramolli par l'humidité.

On conçoit cependant une objection à cette manière de voir. Les graines de Lin normales, les grains de Blé et d'Orge accusent dans leurs tissus une petite quantité d'azote libre qui a dû dégager de la chaleur au moment de sa condensation, et par suite qui aurait dû déterminer la germination, si cette introduction d'azote a été accompagnée d'une quantité correspondante d'oxygène. Bien que nous réservions pour un prochain travail l'étude complète du passage des gaz au travers des enveloppes de la graine, ainsi qu'il a été dit plus haut, nous ferons remarquer d'abord que lorsque les graines ne sont pas encore complétement pénétrées par l'eau, l'azote paraît s'introduire plus vite que l'oxygène (expérience n° 5); que par suite il n'est pas démontré que la présence de l'azote libre dans la graine implique l'entrée de l'oxygène. Nous ferons remarquer en outre que, lors même que l'oxygène pénétrerait dans la graine en même temps que l'azote, il faut, pour que le phénomène calorifique auquel nous attribuons le commencement de la germination prenne naissance, que l'occlusion des gaz ait lieu avec quelque rapidité; si une graine placée dans une atmosphère humide, mais non en contact avec l'eau, se charge d'une faible quantité d'azote, et même d'oxygène, il est probable que cet effet n'a lieu que très-lentement, que par suite l'échauffement dû à la condensation est trop faible pour déterminer l'action chimique énergique que nous constatons au début de la germination.

DEUXIÈME PARTIE.

DE LA GERMINATION ET DE LA DÉCOMPOSITION DES GRAINES DANS DES GAZ AUTRES QUE L'AIR ATMOSPHÉRIQUE.

Il résulte de la première partie de ce travail que la germination commence quand de l'oxygène condensé dans la graine y subit une élévation de température suffisante pour devenir capable d'attaquer les principes immédiats qu'elle renferme. Pour que cette manière de voir puisse être admise, pour qu'on soit convaincu que les gaz atmosphériques se condensent dans la graine, il faut multiplier les expériences qui ont pour but de faire voir cette condensation : nous l'avons montré déjà par la diminution que subit le volume de l'air dans lequel commence la germination ; nous l'avons montré en outre par l'analyse du gaz restant après cette condensation ; enfin nous allons le reconnaître encore en plaçant les graines dans des atmosphères autres que l'air atmosphérique.

§ 1.

De la germination dans l'oxygène pur.

Les graines germent dans l'oxygène, mais souvent moins rapidement que dans l'air atmosphérique : c'est au moins ce qui ressort nettement d'un travail publié récemment par M. Boehm (1), qui a reconnu que pour obtenir dans l'oxygène une germination analogue à celle qui se produit dans l'air, il fallait le dilater, et l'amener, par la diminution de pression, à une tension semblable à celle qu'il présente dans l'air où il est dilué par l'azote.

Nous n'avons pas cherché dans nos expériences à observer le même fait que M. Boehm, mais seulement à constater la disparition d'une portion de l'oxygène introduit et l'apparition des gaz contenus dans la graine.

Nous avons disposé nos expériences comme les précédentes ; quelques-unes ont duré fort longtemps, et les phénomènes de

(1) *Sitz. d. k. Akad. d. Wiss.* Bd. VIII, 18.

décomposition s'y joignent aux modifications dues à la germination. Nous avions l'intention de rechercher si dans une atmosphère oxygénée l'hydrogène peut se dégager à l'état libre, et c'est dans ce but que quelques-unes des expériences ont été ainsi prolongées pendant plusieurs mois.

Les résultats des expériences sont réunis dans le tableau n° 4.

On remarquera d'abord, à l'inspection du tableau n° IV, que le volume des gaz a singulièrement diminué, même dans les expériences de courte durée 21 et 22, dans lesquelles il s'est produit une germination parfaitement régulière ; nous trouvons donc là une confirmation très-nette des faits établis dans le tableau n° I. Cette diminution de volume est tellement sensible, qu'il n'est pas besoin de procédés précis pour la constater, et qu'elle avait déjà été observée par Huber et Senebier dans le mémoire cité plus haut. Dans les expériences prolongées 24 et 25, près de la moitié du gaz a disparu ; mais l'état dans lequel se trouvaient les graines indique que l'oxygène a exercé une action comburante des plus énergiques, laissant seulement un résidu noir ulmique : aussi les expériences 24 et 25 ne peuvent-elles servir qu'à connaître quels sont les résultats que donne la décomposition des graines dans une atmosphère très-riche en oxygène ; les produits pyrogénés obtenus dans ces conditions démontrent une fois de plus que la température a dû s'élever singulièrement par suite de la condensation de l'oxygène dans les tissus. On remarquera, en outre, qu'il n'est pas apparu d'hydrogène, même dans l'expérience 24, où l'oxygène faisait presque entièrement défaut. Si l'on compare ces résultats à ceux que fournit le tableau n° III, on reconnaîtra une fois de plus que l'hydrogène n'apparaît à l'état libre qu'autant que l'atmosphère est d'abord dépouillée d'oxygène ; il est vraisemblable, en effet, que tant qu'il reste de l'oxygène condensé dans la graine, il s'y trouve à une température suffisante pour que tout l'hydrogène soit brûlé et forme de l'eau.

L'azote apparu est en faible quantité ; mais cependant il s'en est toujours dégagé quelques centimètres cubes, qui peuvent

TABLEAU IV.

Les graines sont placées dans l'oxygène pur.

NUMÉROS des expériences.	NOMS des graines en expérience.	DATE du commencement de l'expérience.	DATE de la fin de l'expérience.	DURÉE.	Volume du gaz au commencement (oxygène pur).	GAZ A LA FIN DE L'EXPÉRIENCE.					Gaz dégagé + Gaz absorbé —	OBSERVATIONS.
						Volume total.	Oxygène.	Azote.	Acide carbonique.	Hydrogène.		
					cc	cc	cc	cc	cc		cc	
21.	Cresson .	18 juillet 1873.	22 juillet.	4 jours.	74,7	54,7	60,6	5,9	25,9	»	—14,1	Germination complète.
22.	Id.	Id.	25 juillet.	9 jours.	145,0	116,2	84,6	4,5	27,1	»	—28,8	Germination complète.
23.	Lin.....	30 octobre.	19 novembre.	20 jours.	65,5	46,5	30,7	13,3	2,6	»	—19,0	Germination.
24.	Cresson..	18 juillet.	21 octobre.	96 jours.	137,0	77,6	0,18	3,6	73,9	»	—59,4	Graines noircies, brûlées; dépôt de charbon sur les parois.
25.	Id.	Id.	22 octobre.	97 jours.	120,0	65,0	19,3	1,8	43,9	»	—55,0	(same as 24, bracketed)

provenir de deux sources différentes. Le cresson, qui a servi à trois expériences sur cinq, ne paraît pas renfermer de gaz confiné; car, ainsi qu'on l'a vu plus haut, le dosage de l'azote total et celui de l'azote combiné ont fourni des nombres identiques; mais il faut se rappeler que MM. Lawes et Gilbert ont montré que lorsque des graines se décomposent dans une atmosphère très-oxygénée, les matières albuminoïdes sont brûlées et qu'il se dégage de l'azote à l'état libre (1). Dans l'expérience 23, exécutée avec des graines de Lin, la quantité d'azote apparu est considérable, et elle peut aussi bien provenir du gaz occlus dans les tissus (voy. la note de la page 379) que de la décomposition des matières albuminoïdes; si ces deux causes ont agi simultanément, on comprend que la proportion de ce gaz mise en liberté soit considérable.

Habituellement la quantité d'acide carbonique formé a été très-grande; excepté dans l'expérience 23, qui, bien qu'elle ait été très-prolongée, n'a fourni que des nombres très-inférieurs à ceux qu'ont donnés les expériences 3 et 4 qui ont eu lieu dans l'air; il est probable que l'oxygène n'a exercé là qu'une de ces actions faibles déjà signalées par M. Boehm, ainsi qu'il a été dit plus haut.

En comparant la quantité d'acide carbonique produit à la quantité d'oxygène disparu, on remarque que dans toutes ces expériences, comme dans celles du tableau n° I, il y a bien plus d'oxygène absorbé que d'acide carbonique formé; il est clair que si l'on peut supposer que dans les expériences 21 et 22 l'oxygène manquant a été en grande partie confiné dans la graine, dans les expériences 20, 24 et 25 il a été surtout employé à former des produits fixes.

§ 2.

Germination dans divers mélanges gazeux.

Nous avons établi que l'oxygène se condense en grande quantité dans les graines; mais il reste encore une objection à lever, sur le fait même de la condensation, qui tient à la nature même

(1) Dehérain, *Recherches sur l'intervention de l'azote atmosphérique dans la végétation* (*Ann. sc. nat.*, t. XVIII, p. 152).

de l'oxygène, et à la facilité avec laquelle il forme des combinaisons fixes avec les matières combustibles contenues dans la graine. Il est clair, toutefois, que le fait même de la condensation des gaz dans les graines, apparaîtra encore plus clairement, s'il a lieu, non plus seulement pour l'oxygène, mais aussi pour des gaz inertes, tels que l'azote, l'hydrogène ou l'acide carbonique. C'est pour mettre ce fait en complète lumière que nous avons disposé comme précédemment les expériences résumées dans le tableau n° V.

Elles ont porté sur des mélanges d'azote et d'oxygène, et même sur de l'azote pur ; sur des mélanges d'oxygène et d'hydrogène ; d'oxygène, d'hydrogène et d'acide carbonique ; enfin sur des mélanges d'acide carbonique et d'oxygène.

On remarquera que, dans l'expérience 27, il y avait au commencement de l'expérience très-peu d'oxygène dans l'atmosphère où l'on a placé les graines, et cependant la germination a commencé ; il y a eu même un commencement de germination dans les graines de l'expérience 26, où, pour $94^{cc},6$ d'azote, on n'avait introduit que $4^{cc},2$ d'oxygène : l'azote ne paraît donc pas exercer d'action nuisible sur la germination ; nous verrons qu'il n'en est pas de même pour l'acide carbonique. La petite quantité d'oxygène nécessaire pour déterminer un commencement de germination dans l'azote explique peut-être les anciennes observations de Huber et Senebier, qui croyaient à la possibilité de la germination des Pois dans l'azote pur.

Dans ces deux expériences, l'azote formant la partie de beaucoup la plus importante de l'atmosphère ambiante, il était probable que si les gaz ont la propriété de se condenser dans les graines, ainsi qu'il a été dit plus haut, une partie de l'azote a dû disparaître pendant le temps que les graines sont restées en contact avec lui ; et il en a été ainsi en effet. Dans l'expérience 26, nous trouvons $4^{cc},8$ d'azote en moins dans l'atmosphère où s'est produite la germination ; dans l'expérience 27, $16^{cc},4$ ont encore disparu. On remarquera en outre que, dans l'expérience 26 qui a duré vingt-cinq jours et où l'oxygène a été vite absorbé, on a trouvé une proportion notable d'hydrogène et près de 2 centi-

Tableau V.

Numéros des expériences.	Noms des graines en expérience.	Date du commencement des expériences.	Date de la fin des expériences.	Durée.	Gaz au commencement de l'expérience. Volume total.	Oxygène.	Azote.	Hydrogène.	Acide carbonique.	Gaz à la fin de l'expérience. Volume total.	Oxygène.	Azote.	Acide carbonique.	Hydrogène.	Formène.	Gaz dégagé + Gaz absorbé —	Observations.
26.	Cresson. .	30 mai 1873.	24 juin.	25 jours.	98,8	4,2	94,6	»	»	120,3	»	89,7	21,8	6,9	1,9	+ 21,5	Très-peu de germination.
27.	Id.	11 juin.	20 juin.	9 jours.	89,0	8,9	80,1	»	»	78,0	»	63,7	14,3	»	»	— 11,0	Les graines ont germé.
28.	Id.	30 mai.	Id.	21 jours.	94,5	»	94,5	»	»	101,5	»	90,3	11,2	»	»	+ 7,0	Pas de germination.
29.	Id.	17 juillet.	25 juillet.	8 jours.	81,7	»	81,7	»	»	102,8	»	87,9	14,8	0,16	»	+ 21,1	Les graines sont pourries.
30.	Id.	Id.	30 octobre.	93 jours.	73,6	»	73,6	»	»	81,0	»	72,9	8,1	»	»	+ 7,4	Les graines n'ont pas germé.
31.	Lin.	22 novemb.	5 décembre.	13 jours.	88,4	65,5	»	22,9	»	65,5	3,9	2,4	37,1	22,1	»	— 22,9	Les graines ont germé.
32.	Id.	Id.	Id.	Id.	98,1	47,6	»	50,5	»	80,9	»	2,2	32,1	46,6	»	— 17,2	Id.
33.	Id.	Id.	29 novemb.	7 jours.	90,5	17,9	»	72,6	»	86,6	1,5	21,4	10,5	53,2	»	— 3,9	Id.
34.	Id.	Id.	Id.	Id.	90,0	»	»	90,0	»	91,4	»	15,6	0,6	75,2	»	+ 1,4	Les graines n'ont pas germé.
35.	Id.	30 octobre.	19 novemb.	20 jours.	91,5	66,4	»	»	25,1	69,3	52,2	4,7	12,4	»	»	— 22,2	Pas de germination.
36.	Id.	Id.	Id.	Id.	77,9	40,3	»	»	37,6	62,8	30,3	3,7	28,8	»	»	— 15,1	Id.
37.	Id.	Id.	Id.	Id.	86,1	17,0	»	»	69,1	70,9	9,3	42,3	19,3	»	»	— 16,2	Id.
38.	Cresson. .	18 juillet.	22 octobre.	97 jours.	134,2	44,3	»	45,6	44,3	87,7	»	12,7	44,2	30,8	traces	— 46,5	Id.
39.	Lin.	30 octobre.	19 novemb.	20 jours.	89,7	»	»	»	89,7	86,0	»	1,3	84,7	»	»	— 3,7	Id.
40.	Id.	31 janvier.	23 février.	24 jours.	137,0	26,9	85,0	»	25,0	132,8	»	87,8	45,0	non dosé	»	— 4,2	Commencement de germination, puis arrêt complet.
41.	Id.	Id.	Id.	Id.	160,0	26,9	85,0	»	48,0	156,0	13,3	102,4	40,3	id.	»	— 4,0	Pas de germination.
42.	Id.	Id.	Id.	Id.	115,0	112,0	»	»	3,0	105,0	50,2	27,0	27,8	id.	»	— 10,0	Commencement de germination, puis arrêt complet.
43.	Id.	Id.	Id.	Id.	119,0	112,0	»	»	7,0	108,0	61,1	15,1	31,8	id.	»	— 11,0	Id.
44.	Id.	Id.	Id.	Id.	122,0	112,0	»	»	10,0	112,0	74,2	21,9	15,9	id.	»	— 10,0	Id.

mètres cubes de formène ; tandis que dans l'expérience 27, qui n'a duré que neuf jours, les gaz combustibles font complétement défaut. Dans ces deux expériences, l'acide carbonique est en proportion beaucoup plus forte que n'était l'oxygène dans l'atmosphère primitive ; il y a eu combustion interne des éléments de la graine.

Les expériences 28 et 29 ont eu lieu dans l'azote pur ; cependant on a introduit, en même temps que les graines, de l'eau ordinaire, tenant par conséquent en dissolution quelques traces d'oxygène, qui ont probablement suffi pour déterminer un commencement d'oxydation. Nous voyons en effet que, dans ces deux expériences, il est apparu une certaine quantité d'acide carbonique. Dans l'expérience 28, il y a une petite absorption d'azote ; dans 29, au contraire, il y a dégagement de ce gaz, mais les graines étaient dans un état de pourriture très-avancé. Il y avait eu production de traces d'hydrogène, de telle sorte que l'azote peut aussi bien provenir de la décomposition des matières azotées que de celui qui était déjà confiné dans la graine avant le commencement de l'expérience. Dans l'expérience 30, au contraire, la quantité d'azote final est un peu plus faible que la quantité primitive ; les résultats sont donc analogues à ceux donnés par 28.

Les expériences 31, 32, 33, ont eu lieu dans des mélanges en proportions variables d'hydrogène et d'oxygène. On remarquera que, dans les unes et les autres, la germination s'est effectuée régulièrement ; qu'il y a eu émission d'azote, et parfois en proportion très-considérable, et en même temps diminution du volume d'hydrogène, et cela en proportion d'autant plus grande, que ce gaz formait une fraction plus importante du volume primitif. Le fait de la condensation est donc là nettement démontré ; on le verra encore apparaître plus manifestement dans l'expérience 34, où $15^{cc},2$ d'hydrogène ont disparu. Il est curieux de voir, au reste, que le volume du gaz azote apparu est de $15_{cc},6$, c'est-à-dire un nombre presque égal, comme si le gaz hydrogène, en pénétrant dans la graine, en avait chassé un volume égal d'azote.

Les expériences exécutées dans des mélanges où l'acide car-

bonique se trouvait en quantité un peu notable ont donné des résultats sur lesquels il convient d'insister. On verra d'abord que, lorsque l'acide carbonique est mêlé à une très-grande quantité d'oxygène (expérience 42), la germination commence, mais elle ne tarde pas à s'arrêter complétement : ainsi l'action de l'oxygène pur a été paralysée par 3 centimètres cubes de gaz acide carbonique, et à la fin de l'expérience qui a duré vingt-quatre jours, il restait encore une quantité d'oxygène notable ; tandis que, lorsqu'au lieu de mêler l'acide carbonique à l'oxygène pur on l'a mélangé à de l'air atmosphérique même en proportions beaucoup plus fortes, on a eu une oxydation beaucoup plus énergique, puisque tout l'oxygène avait disparu. On reconnaît encore cette action nuisible de l'acide carbonique dans les expériences 42, 43 et 44, dans lesquelles on a mélangé l'oxygène à des doses croissantes d'acide carbonique, et dans lesquelles on voit les quantités d'oxygène restant devenir de plus en plus grandes : ainsi, quand l'oxygène a été mêlé à 3 centimètres cubes d'acide carbonique, $61^{cc},8$ d'oxygène ont été consommés par les graines ; quand la proportion d'acide carbonique introduite s'est élevée à 7 centimètres cubes, la quantité d'oxygène consommée n'a plus été que de $50^{cc},9$, et elle est tombée à $37^{cc},8$, quand la proportion s'est élevée à 10 centimètres cubes ; enfin, quand les proportions d'acide carbonique ont été encore plus fortes, comme dans les expériences 35, 36 et 37, la quantité d'oxygène employée a été encore plus faible, mais la germination n'a même pas commencé. Dans toutes ces expériences, on a vu apparaître des quantités notables d'azote, et il est remarquable qu'elles ont été beaucoup plus grandes dans des atmosphères riches en oxygène que dans l'acide carbonique pur (exp. 39).

On a fait une seule expérience (38) à l'aide d'un mélange d'acide carbonique, d'oxygène et d'hydrogène ; il est remarquable que dans cette expérience il ait encore apparu de l'azote presque en même quantité qu'il a disparu de l'hydrogène.

En résumé, des faits consignés dans le tableau n° V, on peut conclure qu'ainsi que l'avait très-bien vu Th. de Saussure, aucun gaz n'est aussi nuisible à la germination que l'acide carbonique ;

qu'il paraît encore plus nuisible quand il est mêlé à l'oxygène pur que lorsqu'il est associé à l'air atmosphérique ; que tandis que les graines germent dans un mélange de parties égales d'oxygène et d'hydrogène, il suffit d'introduire 5 pour 100 d'acide carbonique dans de l'oxygène pour que la germination s'arrête aussitôt après qu'elle a commencé.

Ces expériences faites dans des gaz variés nous ont permis de constater que des gaz inertes, tels que l'azote, l'hydrogène, l'acide carbonique même, sont condensés par les graines, comme l'est l'oxygène ; mais à un moindre degré que lui. Elles nous ont fait voir que dans presque toutes les expériences où les graines ont germé, il y a toujours eu apparition d'une petite quantité d'azote accidentel ; quand les atmosphères ont été mortelles malgré leur richesse en oxygène, la quantité d'azote apparu a été très-considérable, mais il faut alors l'attribuer à une véritable désorganisation de la graine.

Conclusions. — Des expériences exposées dans ce mémoire, nous croyons pouvoir tirer les conclusions suivantes.

1. Aussitôt que le testa des graines est ramolli par l'eau, il devient perméable aux gaz, et les graines condensent une certaine quantité du mélange gazeux dans lequel elles sont plongées.

2. Cette condensation de gaz dans les graines est forcément accompagnée d'un dégagement de chaleur qui favorise l'action de l'oxygène atmosphérique et peut-être la détermine.

3. Une fois que l'oxydation des principes immédiats est commencée, elle se continue même dans une atmosphère dépouillée d'oxygène, et le volume d'acide carbonique produit est supérieur au volume d'oxygène primitif ; par suite, la graine perd dans ce cas, non-seulement du carbone, mais encore de l'oxygène provenant de ses propres tissus.

4. L'hydrogène n'apparaît habituellement que dans une atmosphère dont l'oxygène a complétement disparu.

5. Ainsi que l'avait vu Th. de Saussure, l'acide carbonique est plus nuisible à la germination que l'azote ou l'hydrogène.

DE L'INFLUENCE DE LA LUMIÈRE

SUR

LA RÉGÉNÉRATION DES MATIÈRES ALBUMINOIDES

AUX DÉPENS

DE L'ASPARAGINE FORMÉE PENDANT LA GERMINATION

Par M. le Prof. PFEFFER (1).

Dans un mémoire intitulé : *Recherches sur les corps protéiques* (aleurone) *et le rôle de l'asparagine pendant la germination des graines* (2), j'ai montré que dans la germination des Papilionacées l'asparagine est la forme de transport des matières albuminoïdes de réserve. En partant des cotylédons de la jeune plante, l'asparagine traverse les tissus parenchymateux et se dirige vers les organes en voie d'accroissement, et l'on peut l'y trouver aussi longtemps qu'il y a des matières albuminoïdes de réserve dans les cotylédons. Dès que ceux-ci sont épuisés, l'asparagine disparaît complétement et ne se trouve plus dans aucune partie de la plante, même pas dans les organes nouveaux qui croissent très-rapidement. Son rôle se borne au transport des matières albuminoïdes accumulées comme matériaux de réserve.

Mais l'asparagine ne disparaît que dans les plantes qui végètent à la lumière ; dans celles qu'on élève à l'obscurité on trouve encore des quantités d'asparagine après la mort de la plante étiolée. Il faut en conclure qu'il existe une relation entre la lumière et la disparition de l'asparagine, ou plutôt sa régénération en matières albuminoïdes. Les preuves de cette transformation sont les suivantes : lorsque la grande quantité d'asparagine formée pendant la germination a disparu, la plante ne renferme à côté des matières protéiques aucune autre matière

(1) *Monatsber. d. kön. Akad. d. Wiss. zu Berlin*, séance du 4 décembre 1873. — *Bot. Zeit.*, 1874, n° 14.

(2) *Jahrb. für wiss. Bot.*, VIII, 1872, p. 530.

azotée en quantité notable (1); d'un autre côté, la quantité d'azote qui se trouve dans la plante n'a pas changé d'une manière appréciable quand on a eu soin d'empêcher la plante d'absorber des matières azotées.

D'ailleurs, l'asparagine ne se transforme plus en légumine, matière protéique de réserve des graines de Papilionacées, qui paraît manquer dans la plante; mais sa transformation se fait en albumine (2).

Dans le travail cité plus haut, j'ai émis l'opinion que la lumière n'est qu'indirectement en rapport avec la transformation de l'asparagine avec les matières albuminoïdes, et l'expérience que je vais exposer confirme pleinement cette opinion.

Avant de l'aborber, je dois cependant comparer la composition chimique de l'asparagine et des matières protéiques qui ne présentent pas de grandes différences dans les proportions des éléments qui les constituent; je choisis la légumine comme objet de comparaison, et les chiffres sont calculés en partant de 21,2 d'azote contenu dans 100 d'asparagine; j'ai négligé la petite quantité de soufre qui se trouve dans la légumine.

	Légumine.		Asparagine.	Différence.
C......	64,9	C.....	36,4	+ 28,5
H.....	8,8	H.....	6,1	+ 2,7
Az.....	21,2	Az....	21,2	0
O......	30,6	O.....	36,4	— 5,8

L'asparagine est donc plus pauvre en carbone et en hydrogène, et plus riche en oxygène, que la légumine et d'autres matières protéiques. Par conséquent, lorsque la légumine se transforme en asparagine et que tout l'azote est employé, il doit y avoir dégagement de quantités notables de carbone et d'hydrogène et absorption d'une certaine quantité d'oxygène. L'inverse a lieu dans le retour de l'asparagine à l'état d'albumine. Nous ne pouvons rien dire aujourd'hui sur la manière dont s'effectue l'élimination du carbone et de l'hydrogène pendant la formation de l'asparagine; il est possible que le dégagement

(1) M. Ritthausen trouva dans les graines mûres de Vesce une très-petite quantité d'une matière très-semblable à l'asparagine. (*Die Eiweisskörper der Getreidearten u. s. w.*, 1872, p. 168, et *Journal für prakt. Chemie*, 1873, p. 374.)

(2) Pfeffer, *loc. cit.*, p. 557.

de carbone et d'hydrogène se lie directement à la respiration; mais il pourrait y avoir aussi un dédoublement de matières protéiques, avec absorption d'oxygène, en asparagine plus azotée et un autre corps non azoté. En tout cas, la presque totalité de l'azote des matières protéiques passe dans l'asparagine parce qu'il ne se forme pas d'autres matières azotées pendant la germination, abstraction faite de très-petites quantités d'ammoniaque (1).

La faiblesse de nos connaissances chimiques relativement aux matières albuminoïdes ne nous permet pas de pénétrer plus avant dans l'étude des relations qui existent entre l'asparagine et les matières protéiques; mais la comparaison que nous venons d'établir entre ces deux corps suffit pour faire comprendre l'importance de la lumière dans la régénération des matières albuminoïdes aux dépens de l'asparagine.

Il doit s'ajouter à l'asparagine du carbone et de l'hydrogène, ce qui est impossible lorsqu'il n'y a pas dans la plante de matériaux appropriés disponibles. Ce dernier cas se présente lorsque la plante germe à l'obscurité, parce que les matériaux de réserve non azotés des graines de Papilionacées ne suffisent pas pour couvrir les dépenses causées par l'accroissement et la transformation de l'asparagine en albumine. Lorsque la plante se développe à la lumière, elle ne s'épuise pas ainsi : la matière organique produite par l'assimilation permet à l'asparagine de se transformer en matière protéique. J'ai prouvé l'exactitude de cette manière de voir en faisant végéter une plante à la lumière, mais dans un milieu privé d'acide carbonique; dans ce cas, il ne peut pas se former de matière organique par assimilation.

J'ai fait mes expériences sur le *Lupinus luteus*, plante qui m'a servi aussi dans mes travaux antérieurs sur le rôle de l'asparagine dans la migration des matières protéiques de réserve. Les graines ont été semées dans de la terre de jardin ordinaire et le tout a été placé sous une cloche tubulée, mastiquée hermétiquement sur une plaque de verre; la tubulure de la cloche portait un tube de verre d'environ 20 millimètres de diamètre rempli de pierre ponce et de fragments de potasse; à côté du pot se

(1) Hosœus, *Archiv. für Pharmacie*, 1868, Bd. CXXXV, p. 42.

trouvait une capsule renfermant de la lessive de potasse. Immédiatement au-dessous de la tubulure j'avais suspendu une capsule de verre destinée à recevoir de gros morceaux de chlorure de calcium fondu, que je renouvelais tous les deux ou trois jours. De cette manière la rosée a été évitée et la plante se trouvait dans des conditions de transpiration à peu près normales.

Les appareils étaient disposés derrière des fenêtres exposées à l'est ou au midi. L'insolation directe trop intense a été évitée à l'aide d'écrans de papier blanc.

Les expériences ont duré de juin à septembre.

Dans ces conditions, il y avait sous la cloche un gaz riche en oxygène qui, à part l'absence de l'acide carbonique, ne s'est jamais écarté notablement de la composition de l'air atmosphérique. Les expériences de contrôle en fournissent les preuves : en effet, la plante ne peut croître normalement que lorsqu'elle assimile; dans ces expériences de contrôle la disposition de l'appareil était exactement la même que dans les autres, mais la capsule avec la potasse manquait, et il n'y avait dans le tube de verre que des fragments de ponce. Dans ces conditions, les Lupins réussirent aussi bien qu'à découvert, et, dans ces plantes, les matériaux de réserve ont été usés et l'asparagine a disparu.

Après le développement de la septième feuille, les cotylédons renfermaient encore un peu d'asparagine, qui disparut bientôt et n'était en général plus visible dans la plante après le développement de la neuvième feuille.

Dans le gaz privé d'acide carbonique, les Lupins se développèrent normalement jusqu'à la formation de la deuxième feuille, mais la troisième ne put jamais se développer complétement, et les plantes persistèrent dans cet état jusqu'à leur mort, qui survint au bout de vingt-cinq à trente-cinq jours.

Comme dans les plantes élevées à l'obscurité ou à la lumière très-diffuse, le premier symptôme de la décomposition est la transparence des tissus à la limite entre l'axe hypocotylé et la racine, par suite de laquelle les plantules finissent par tomber. Dans cet état, la plante contient une très-grande quantité d'asparagine, égale ou peu inférieure à celle qu'on trouve dans les plantes élevées à l'obscurité. L'alcool précipite directement l'as-

paragine dans l'axe hypocotylé, la tige, la partie supérieure de la racine, le pétiole des cotylédons et des feuilles, et ordinairement encore dans les cotylédons mêmes. Dans les feuilles développées et non développées, ainsi que vers les points de végétation de la tige et de la racine, il y a une plus petite quantité d'asparagine; mais on ne réussit à la montrer qu'en faisant passer de l'alcool sous le petit verre sur des coupes minces (1). On ne trouve dans ces plantes ni glycose, ni aucun autre corps qui réduise le sel de cuivre; il n'y a de l'amidon que dans les cellules stomatiques; les grains de chlorophylle en sont dépourvus parce que la plante n'assimile pas (2).

Dans les Lupins qui ont germé à l'obscurité, la répartition de l'asparagine est la même que chez ceux qui ont été cultivés dans un gaz privé d'acide carbonique; la glycose leur fait également défaut, et il n'y a de l'amidon qu'au sein des cellules stomatiques. Les plantes étiolées portent deux feuilles dont les pétioles sont très allongés, tandis que le limbe n'est pas développé; la troisième feuille ne sort qu'incomplétement du bourgeon. Cet état correspond, abstraction faite de l'étiolement et de ses suites, au développement opéré aux dépens des matériaux de réserve. Le Lupin élevé à la lumière et à l'air libre a également dépensé ses matériaux de réserve hydrocarbonés lorsque la troisième feuille se développe. La glycose, qui se dirige alors en grande quantité des cotylédons vers les parties jeunes de la plante, a disparu ou ne se trouve plus qu'à l'état de traces dans l'axe hypocotylé, la partie supérieure des racines et les pétioles des cotylédons; la petite quantité d'amidon qui se trouve dans les pétioles et dans quelques parties de la tige s'explique par l'assimilation de la plante verte.

L'asparagine, qui se trouve maintenant en aussi grande quantité dans ces plantes que dans celles qu'on a privées d'acide carbonique, diminue peu à peu, et disparaît enfin complétement lorsque la plante assimile.

A part l'absence d'acide carbonique, les Lupins se trouvaient

(1) La méthode microchimique pour la recherche de l'asparagine est indiquée dans mon travail cité, page 533.

(2) Voy. Godlewski, *Flora*, 1873, p. 382.

dans des conditions de végétation tout à fait normales. Mais, comme il ne pouvait pas se former de substance organique par assimilation, l'accroissement devait s'arrêter dès que les matériaux de réserve se trouvaient épuisés et que l'asparagine ne pouvait plus se régénérer, faute de matières appropriées disponibles (1).

On peut encore conclure de cette expérience que les matériaux de réserve non azotés ne suffisent pas pour équilibrer les pertes causées par la respiration, l'accroissement et la transformation en matières albuminoïdes de toute l'asparagine formée pendant la germination. Cette expérience montre en outre que les matières protéiques de réserve ne subissent pas un dédoublement en asparagine et en quelque autre matière qui suivrait l'asparagine dans son mouvement ascensionnel et reconstituerait la matière albuminoïde en s'unissant de nouveau avec l'asparagine. Déjà, pour des raisons qu'il ne m'appartient pas d'exposer ici, il faut repousser cette explication comme extrêmement invraisemblable; il me suffit de faire remarquer que mon expérience n'opposerait aucun obstacle à une telle reconstitution. Si la séparation de carbone et d'hydrogène nécessaire pour la transformation des matières protéiques en asparagine n'est pas due directement à une combustion, il est cependant certain que s'il y a un dédoublement, l'un des produits du dédoublement est employé dans la plante de la même manière que les matières de réserve non azotées, par la respiration et par l'accroissement.

L'asparagine ne donne naissance pendant la germination à aucun corps azoté en quantités appréciables; par conséquent, lorsque les matières albuminoïdes se transforment en asparagine,

(1) Une très-faible assimilation était possible dans nos recherches, car une partie de l'acide carbonique dégagé par la respiration n'a pas été absorbée par la potasse, mais il a été redécomposé par la plante; ensuite les matières organiques en décomposition dans la terre ont pu dégager une petite quantité d'acide carbonique que la plante a pu absorber directement par les racines ou en l'empruntant à l'atmosphère environnante: mais ces petites causes d'erreur n'infirment en rien les résultats de nos expériences.— En employant de la terre de jardin, les Lupins pouvaient absorber les matières inorganiques nécessaires; même si cela n'avait pas été le cas, on n'aurait pas pu attribuer à l'absence des matières inorganiques l'effet produit en réalité par le défaut d'assimilation, parce que les plantes élevées dans l'eau pure arrivent à un degré de développement bien supérieur à celui qu'elles atteignent quand elles sont privées d'acide carbonique.

tout l'azote qu'elles renfermaient passe dans celle-ci; de même, au moment de la régénération des matières albuminoïdes, l'asparagine ne peut pas se dédoubler en une matière plus riche en azote et en matières protéiques.

Le rôle de l'asparagine dans la germination du *Tropæolum majus* est également très-important. Dans cette plante l'asparagine ne se forme qu'à l'époque des premières phases de la germination, pour disparaître plus tard, que la plante soit cultivée à l'obscurité ou à la lumière (1).

Chez le *Tropæolum* l'asparagine se régénère normalement en matières albuminoïdes avant que les matériaux de réserve privés d'azote aient complétement quitté les cotylédons, et c'est pour cela même que la régénération est complète à l'abri de la lumière. Cette expérience prouve que l'asparagine qui se trouve dans les Papilionacées qui ont germé à l'obscurité n'est qu'une partie de l'asparagine formée; dans les premières phases de la germination, aussi longtemps qu'il y avait des matières de réserve hydrocarbonées disponibles, une partie de l'asparagine s'est transformée en matières albuminoïdes. La quantité de matériaux hydrocarbonés de réserve permet donc de juger de la quantité d'asparagine qui persiste dans la plante étiolée; les recherches microscopiques montrent en effet que pour le *Vicia* et le *Pisum* la plante étiolée renferme moins d'asparagine que dans le Lupin (2).

L'obscurité, *comme telle*, ne favorise pas la formation de l'asparagine, comme l'a dit M. Boussingault (3). Ce corps apparaît et disparaît pendant la germination du *Tropæolum* indépendamment de la lumière, et, sous ce rapport, les jeunes plantes de Papilionacées, élevées à la lumière et à l'obscurité, sont parfaitement d'accord dans leurs premiers états de développement. Les recherches microchimiques, ainsi que l'analyse chimique, le montrent nettement. MM. Dessaignes et Chautard (4), ainsi que

(1) Voyez mon premier travail, page 560.

(2) Pfeffer, *loc. cit.*, p. 560.

(3) *Agronomie, chimie agricole et physiologie*, 1868, t. IV, p. 265.

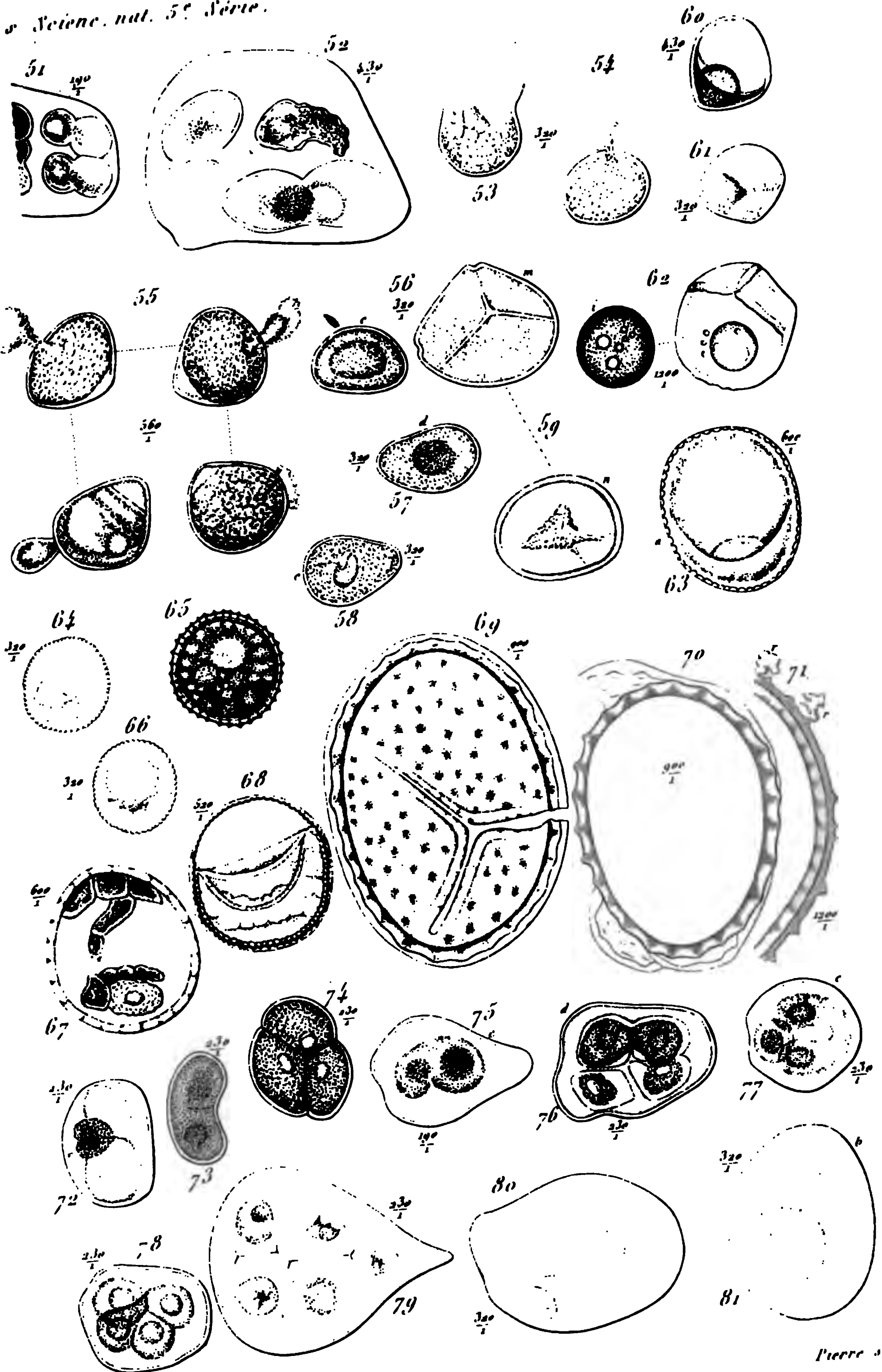
(4) *Journal de pharmacie*, 1848, t. XIII, p. 246.

TABLE DES ARTICLES

PAR NOMS D'AUTEURS.

TABLE DES PLANCHES

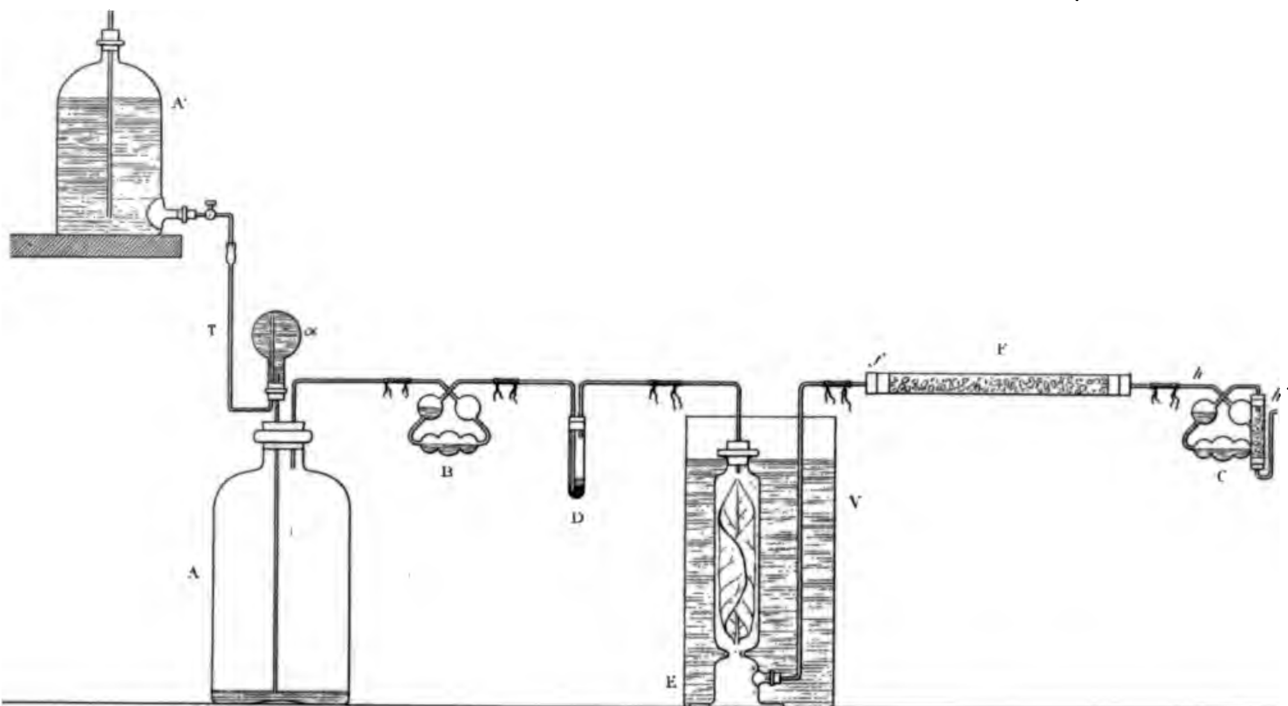
PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2



Ad nat. auct. del. Pierre sc.

Spores de l'Angiopteris longifolia.

... Paris.



Moissan del. Pierre sc.

Appareil destiné à doser l'acide carbonique émis par les feuilles maintenues dans l'obscurité à diverses températures.

